

An Investigation on Weldability of AISI 304 and AISI 1040 Steels on Friction Welding

Untersuchung der Schweißbeignung von AISI 304 und AISI 1040 mittels Reibschweißen

Sare Celik^{1*}, Dincer Dinc², Ramazan Yaman³, Irfan Ay⁴

Received: January 16, 2009

Accepted: January 8, 2010

Abstract

In welding technology, joining processes of different materials, which have dissimilar crystal structures are difficult. Welding of different materials becomes very important to reduce costs. Furthermore, the friction welding method is processed in lower temperature than the melting temperature. Especially, this is a big advantage to overcome difficulties that occur in the heat affected zone during usage of conventional methods.

In this study, the weldability of AISI 304 stainless steel and AISI 1040 carbon steel by friction welding is studied. During the welding process, temperature variations in the welding zones were measured with an infrared temperature measurement device. After welding of the samples, tensile and hardness experiments were carried out. For metallographic investigations, optical microscope and scanning electron microscope (SEM) pictures were taken. Energy dispersive spectroscopy (EDS) analysis was carried out for composition investigations on welding and heat affected zones. As a result, these two steels could be joined by friction welding for industrial usage.

Introduction

In welding technology, the joining process of different materials, which have dissimilar crystal structure, is difficult. The quality of welding is affected by internal stresses, slag, heat affected

Eingegangen: 16. Januar 2009

Angenommen: 8. Januar 2010

Übersetzung: A. Reichelt

Kurzreferat

Der Fügeprozess nicht artgleicher Werkstoffe mit ungleichem Kristallgefüge innerhalb des Schweißens ist kompliziert. Dabei gewinnt das Schweißen nicht artgleicher Werkstoffe im Hinblick auf die Kostensenkung ständig an Bedeutung. Außerdem läuft der Reibschweißprozess unterhalb der Schmelztemperatur ab. Dies ist besonders von Vorteil, um Schwierigkeiten in der wärmebeeinflussten Zone bei Anwendung konventioneller Verfahren zu überwinden.

Gegenstand dieser Untersuchung ist die Schweißbarkeit von AISI 304 (Edelstahl) und AISI 1040 (C-Stahl) mittels Reibschweißen. Während des Schweißprozesses wurden die Temperaturschwankungen in den Schweißzonen mittels Infrarot-Temperaturmessung ermittelt. Nach Schweißen der Proben erfolgten Zugversuche und Härtetests. Für die metallographischen Untersuchungen wurden Aufnahmen mittels Lichtmikroskop und Rasterelektronenmikroskop (REM) gewonnen. Für Untersuchungen der Werkstoffzusammensetzung in der Schweiß- und wärmebeeinflussten Zone kam die energiedispersive Spektroskopie (EDS) zum Einsatz. Im Ergebnis derer erwiesen sich diese beiden Stähle als industriell reibschweißbar.

Einführung

Der Fügeprozess nicht artgleicher Werkstoffe mit ungleichem Kristallgitter innerhalb des Schweißens ist kompliziert. Die Schweißqualität wird durch Eigenspannungen, Schlacke,

zone, and brittle inter-metallic phases that occur after welding. Friction welding method that is processed in lower temperature than melting temperature can overcome or decrease some of the difficulties mentioned above [1,2,3].

Friction welding is preferred on joining mostly axial symmetrical parts, but this process also is possible for non-circular parts. Furthermore with achievements on the technology rounded disc can be stopped at any position that irregular parts could be welded and unwanted torsions could be prevented, these has been proven [3].

Friction welding has a wide range application field. This method is suitable for mass production as well as small quantity parts that are for maintenance. Friction welding method has been applied on gears, button arms, crank shafts, hole puncher parts in machinery industry, reamer, drill tips, milling cutters, cutting and machine tool industry, gear and axis joining, axis, valves, and many other zones [4].

In this study, the weldability of AISI 304 stainless steel and AISI 1040 carbon steel by friction welding is studied. During the welding process, temperature variations in the welding places were measured with an infrared temperature measurement device. After the welding of the samples, tensile and hardness experiments were carried out. For metallographic investigations, optical microscope and scanning electron microscope (SEM) have been gathered. Energy dispersive spectroscopy (EDS) analysis was carried out for composition investigations on welding and heat affected zones.

Materials and Method

AISI 304 and AISI 1040 steels that are processed in cold milling have been investigated for friction welding process. Generally AISI 304 steel is used in food processing machine parts, kitch-

die wärmebeeinflusste Zone sowie nach dem Schweißen entstehende spröde intermetallische Phasen beeinflusst. Das unterhalb der Schmelztemperatur ablaufende Reibschweißverfahren kann diese o.g. Probleme beseitigen bzw. mindern [1,2,3].

Reibschweißen kommt vorzugsweise zum Fügen zumeist axialsymmetrischer Teile zum Einsatz, kann jedoch auch für asymmetrische Teilegeometrien angewandt werden. Nachweislich kann bei dieser Technologie außerdem die abgerundete Platte in jeder Stellung zum Stillstand gebracht werden, so dass unregelmäßige Werkstücke schweißbar und eine unerwünschte Torsion vermeidbar werden [3].

Das Reibschweißen wird in verschiedenen Gebieten eingesetzt. Das Verfahren ist sowohl für die Massenfertigung als auch bei geringen Stückzahlen zur Reparatur geeignet. Das Reibschweißverfahren kam zum Einsatz für Getriebe, Schalthebel, Kurbelwellen, Locherteile und Lochwerkzeuge im Anlagenbau, Schalthebel, Reibahlen, Bohrerspitzen (Schneidplatten), Fräswerkzeuge, im Schneidwerkzeug- und Werkzeugmaschinenbau, für Getriebe- und Achskupplungen, Achsen, Ventile und viele andere Anwendungen [4].

Vorliegende Studie untersucht die Schweißbeignung von AISI 304-Edelstahl und AISI 1040-C-Stahl mittels Reibschweißen. Während des Schweißens wurden die Temperaturschwankungen an den geschweißten Positionen mit einem Infrarot-Temperaturmessgerät ermittelt. Nach Schweißen der Proben wurden Zugversuche und Härtetests durchgeführt und die Ergebnisse mittels metallographischer Untersuchungen, Lichtmikroskop und Rasterelektronenmikroskop (REM) erfasst. Die energiedispersive Spektroskopie (EDS) wurde zu Untersuchungen der Zusammensetzung auf dem Schweißgut und den wärmebeeinflussten Zonen ausgeführt.

Werkstoffe und Verfahren

Die kaltgefrästen AISI 304- und AISI 1040-Stähle wurden auf das Reibschweißen hin untersucht. Im Allgemeinen kommt der Stahl AISI 304 für Maschinenteile von Lebensmittelver-

Materials / Werkstoffe	C	Ni	Cr	Si	Mn	S	Cu	Mo	Nb	Fe
AISI 304	0,063	8,221	18,785	0,287	1,341	0,014	0,162	0,03	0,001	70,973
AISI 1040	0,392	0,072	0,020	0,201	0,780	-	0,072	0,003	0,006	98,391

Tab. 1: Spectral analysis results of the materials

Tab. 1: Spektralanalyse der Werkstoffe – Ergebnisse

Materials / Werkstoffe	Yield Strength / Streckgrenze (MPa)	Tensile Strength / Zugfestigkeit (MPa)	Elongation / Dehnung (%)	Hardness / Härte (HV30)
AISI 304	738,6	881,2	35	205
AISI 1040	693,6	915,1	5,25	230

Tab. 2: Mechanical properties of the parent materials

Tab. 2: Mechanische Eigenschaften der Grundwerkstoffe



Fig. 1: The experimental friction welding machine and its control unit

Bild 1: Versuchs-Reibschweißmaschine mit Steuereinheit

Main Power / Hauptleistung	7,5 KW, 1440 rpm
Hydraulic Power / Hydraulikleistung	1,5 KW, 1420 rpm
Output speed / Ausgangsdrehzahl	3000 rpm
Dimensions / Maße (WxLxH)	600x1550x1170 m ³

Tab. 3: Technical properties of the experimental friction welding machine.

Tab. 3: Technische Eigenschaften der Versuchs-Reibschweißmaschine

enware, and chemical equipments as stainless steel, and it is expensive when it is compared with AISI 1040 steel. The AISI 1040 steel has a common usage for gears, axles. It is a cheap

arbeitungsmaschinen, Küchenutensilien und Chemieanlagen aus Edelstahl zum Einsatz und ist gegenüber der Stahlsorte AISI 1040 relativ teuer. AISI 1040 wird gebräuchlicherweise für

material. A combination of these two materials provides advantages of sufficient strength and cost reductions. Spectral analysis results of these materials have been presented in Tab. 1, and mechanical properties are in Tab. 2.

The experiments were carried out with a continuously powered friction machine in the departmental lab, which is shown in Fig. 1 and its technical properties are given in Tab. 3. The machine may be controlled by a Personal Computer (PC) or manually. The control program was developed in Delphi programming language. The PC can control the main drive motor, the hydraulic pump, the clutch, the brake system, the friction and the upset pressure systems, the PC can also control friction and upset times, and backward system.

Friction Welding Parameters

The samples have 10 mm diameter, and 80 mm length that are suitable for the experimental welding machine. Joining parts' surfaces have been grinded, cleaned and then fixed to the machine. The parameters have been decided after related literature search and some pre-experiments [5]. Both friction and upset times have been fixed as 6 s. The samples have 3000 rpm constant rotational speed. Friction and upset pressures are variables; especially upset pressure is higher than friction pressure in related literature [6,7,8,9]. Unlikely, in these experiments, friction pressure has also been selected higher than upset pressure. Tab. 4 presents the friction welding parameters that have been used in the experiments. The temperature of the friction welding zone was measured by an infrared temperature gauge (Raygner 3i, min. 200°C to max. 1800°C, step 1 K) after the joining process the samples have been tested for tensile and hardness values. For metallographic investigations, optical microscope and scanning electron microscope (SEM) have been gathered. Energy dispersive spectroscopy (EDS) analysis was carried out for composition investigations.

Getriebe und Achsen verwendet und ist preiswert. Die Kombination dieser beiden Werkstoffe ist vorteilhaft bezüglich hinreichender Festigkeit und Kostensenkung. Die Ergebnisse der Spektralanalyse dieser Werkstoffe sind in Tab. 1, die mechanischen Eigenschaften in Tab. 2 zusammengestellt.

Die Experimente wurden mit einer kontinuierlich angetriebenen Reibschweißmaschine im Versuchsfeld der Abteilung, dargestellt in Bild 1, durchgeführt. Die technischen Eigenschaften gehen aus Tab. 3 hervor. Die Steuerung der Maschine kann mittels PC bzw. manuell erfolgen. Das Steuerprogramm wurde in der Programmiersprache Delphi geschrieben. Der PC ist in der Lage, Hauptantriebsmotor, Hydraulikpumpe, Kupplung, Bremssystem, Reib- und Stauchdruck-Systeme zu steuern. Der PC kann außerdem die Reib- und Stauchzeiten sowie das Rücksystem steuern.

Reibschweißparameter

Die Proben von 10 mm Durchmesser und 80 mm Länge sind für die Versuchs-Schweißmaschine geeignet. Die Flächen der zu schweißenden Teile wurden nach dem Schleifen und Polieren auf der Maschine fixiert. Die Wahl der Parameter erfolgte nach Literaturrecherche und einigen Vorab-Experimenten [5]. Für Reib- und Stauchzeit wurden jeweils 6 Sekunden festgelegt. Die Drehzahl der Proben betrug konstant 3000 min⁻¹. Reib- und Stauchdruck sind Variablen; speziell der Stauchdruck ist höher als der Reibdruck in der zitierten Literatur [6,7,8,9]. Anders als in diesen Experimenten wurde der Reibdruck ebenfalls höher als der Stauchdruck gewählt. Tab. 4 enthält die in den Versuchen gefahrenen Reibschweißparameter. Die Temperatur der Reibschweißzone wurde mittels Infrarot-Thermometer (Raygner 3i, min. 200°C bis max. 1800°C, in Inkrementen von 1 K) gemessen. Nach dem Fügeprozess wurden die Proben auf Zug- und Härtewerte untersucht. Für metallographische Untersuchungen wurden ein Lichtmikroskop und ein Rasterelektronenmikroskop (REM) herangezogen. Die energiedispersive Spektroskopie (EDS) wurde für Untersuchungen der chemischen Zusammensetzung angewandt.

	Friction pressure / Reibdruck (P_f) (MPa)	Upset Pressure / Stauchdruck (P_u) (MPa)
Experiment - 1	64.8	121.5
Experiment - 2	64.8	162
Experiment - 3	81	121.5
Experiment - 4	81	162
Experiment - 5	121.5	121.5
Experiment - 6	121.5	162
Experiment - 7	162	121.5

Tab. 4: The process parameters used in the friction welding experiments

Tab. 4: Prozessparameter, gefahren in den Reibschweißversuchen

Results and Discussion

Temperature Analysis

AISI 304 and AISI 1040 steels were welded successfully by friction welding in the decided welding parameters. Fig. 2 represents a common view of the samples after the welding process. Welding zone temperature changes were recorded in a computer file for the analysis. Time and temperature values can be seen in Fig. 3. This figure shows that there is a high temperature increase in the first 2-3 s, and it reaches the maximum value in 4-5 s, and then decreases down to measurable value. (The first two seconds have been accepted as a preparation time). Fig. 3 also shows that friction existed in the sixth second and that the temperature decreases afterwards. In this stage, the material has gained plastic form and then friction coefficient decreases [10]. Applying different friction pressures affected the reaching time of different welding temperature levels, which is proportional to the increase of pressure. After reaching the maximum welding temperature, continuous friction pressure and rotational process increase the deformation of the specimens, but were in no relation to upset pressure and temperature.

Ergebnisse und Diskussion

Temperaturanalyse

Die Stähle AISI 304 und AISI 1040 wurden erfolgreich mit den hierfür ausgewählten Schweißparametern gefügt, d.h. reibgeschweißt. Bild 2 zeigt die Proben nach dem Schweißen. Die Temperaturänderungen in der Schweißzone wurden in einer Datei zur Auswertung zusammengestellt. Zeit- und Temperaturwerte sind aus Bild 3 ersichtlich. Das Bild zeigt auf, dass ein starker Temperaturanstieg in den ersten 2-3 s erfolgt, und dieser erreicht sein Maximum in 4-5 s. Im Anschluss daran wird die Temperatur auf den messbaren Wert abgesenkt. (Die ersten beiden Sekunden wurden als eine Art Anlauf- oder Vorbereitungsphase betrachtet). Aus Bild 3 geht weiterhin hervor, dass die Reibung in der sechsten Sekunde auftrat und dass sich im Anschluss daran die Temperatur verringerte. In diesem Stadium hat der Werkstoff den plastischen Zustand erreicht und im Anschluss daran verringert sich der Reibwert [10]. Die Anwendung unterschiedlicher Reibdrücke beeinflusste die Zeit zum Erreichen der unterschiedlichen Schweißtemperatur-Stufen, die proportional zum Druckanstieg ist. Nach Erreichen der maximalen Schweißtemperatur verformt sich der Probekörper zunehmend durch kontinuierlichen Reibdruck sowie Rotation, diese Einflüsse standen jedoch in keinem Verhältnis zu Stauchdruck und Temperatur.



Fig. 2: Photo of welded specimens

Bild 2: Geschweißte Probe (Foto)

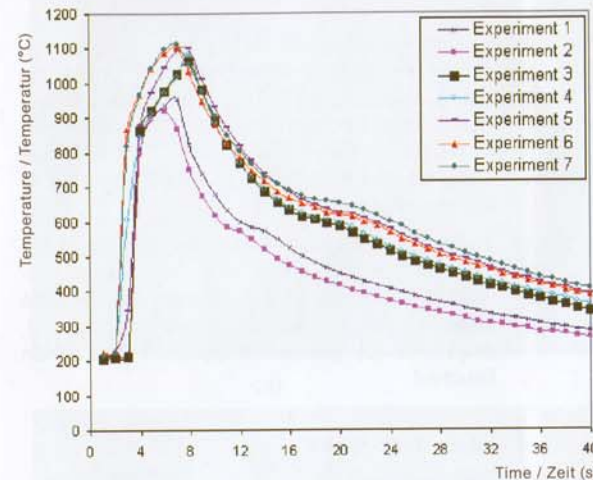


Fig. 3: Time and temperature changes in the welding zone during welding process with different pressure levels

Bild 3: Zeit- und Temperaturveränderungen in der Schweißzone während des Schweißprozesses bei verschiedenen Druckstufen

Tensile Properties of the Samples

For tensile properties of the welded samples, they were prepared according to the EN 895, and tensile tests have been carried out. The welded sample dimensions are given in Fig. 4. In Fig. 5, tensile strength values and in Fig. 6 elongation (%) values of the samples are presented. Investigation tensile test specimens and their break off zones, the break offs occurred at the side of AISI 1040 in HAZ zone.

Tensile tests show that generally, friction pressure and tensile strengths are proportional. The highest tensile strength value has been observed in sample 7. When the AISI 304 tensile strength value (881.2 MPa) and welded samples (sample 7, sample 4 which is second highest tensile value) are compared. Sample 7 as well as sample 4 have an average tensile strength value (sample 7: 792.4 MPa, sample 4: 754.4 MPa) ranging from 10% and 14.3% lower, respectively (see Fig. 5).

Zugeigenschaften der Proben

Für die Zugeigenschaften der geschweißten Proben wurden diese nach EN 895 präpariert, dann erfolgten die Zugversuche. Die Abmessungen der geschweißten Probe gehen aus Bild 4 hervor. Bild 5 enthält die Zugfestigkeitswerte, Bild 6 die Dehnung (%) der Proben. Bei Untersuchung der Proben für den Zugversuch und deren Bruchzonen traten die Brüche an der Seite von AISI 1040 in der wärmebeeinflussten Zone auf.

Die Zugversuche zeigen, dass Reibdruck und Zugfestigkeit bekanntlich proportional sind. Der höchste Wert für die Zugfestigkeit wurde für Probe 7 festgestellt. Es erfolgte der Vergleich des AISI 304-Zugfestigkeitswertes (881,2 MPa) mit den geschweißten Proben (Probe 7, Probe 4 mit zweithöchstem Zugfestigkeitswert). Probe 7 sowie Probe 4 weisen eine mittlere Zugfestigkeit auf (Probe 7: 792,4 MPa, Probe 4: 754,4 MPa), die um 10% bzw. 14,3% geringer ist (siehe Bild 5).



Fig. 4: Tensile test sample
Bild 4: Probe Zugversuch

There is no big difference between the selected samples 7, and 4 as both show an average highest tensile strength, average elongation values between welded sample 7 (4.9%), sample 4 (5.4%) and AISI 1040 (5.25%) (see Fig. 6).

Es gibt keinen wesentlichen Unterschied zwischen den ausgewählten Proben 7 und 4, da beide eine durchschnittliche höchste Zugfestigkeit und durchschnittliche Dehnungen zwischen der geschweißten Probe 7 (4.9%), Probe 4 (5.4%) und AISI 1040 (5.25%) aufweisen.

Fig. 7 shows SEM pictures of the tensile fracture surfaces with different magnifications. Although this planar fracture surface seems to be a brittle type fracture, picture (d) shows some signs from ductile fracture.

Bild 7 zeigt die REM-Bilder der Zug-Bruchflächen in verschiedenen Vergrößerungen. Obwohl es sich bei dieser ebenen Bruchfläche offensichtlich um einen Spröbruch handelt, zeigt Bild (d) gewisse Anzeichen des zähen Bruches.

Hardness Properties of the Samples

From the welded samples, parent materials, heat affected zones, and welding zones, Vickers

Härte der Proben

Die Vickers-Härte wurde für die geschweißten Proben, die Ausgangs-Werkstoffe, wärmebein-

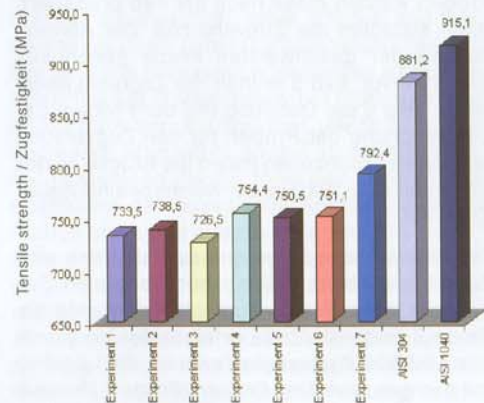


Fig. 5: Average tensile strength values of welded samples and AISI 304, AISI 1040

Bild 5: Mittlere Zugfestigkeitswerte der geschweißten Proben sowie von AISI 304, AISI 1040

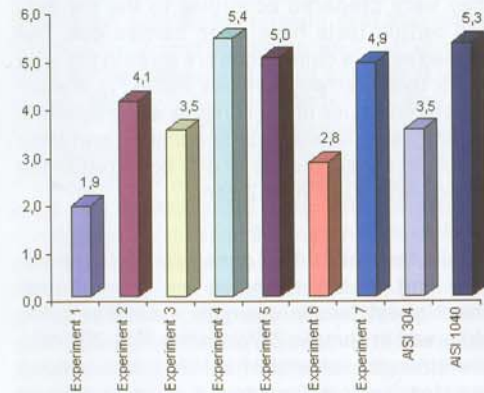
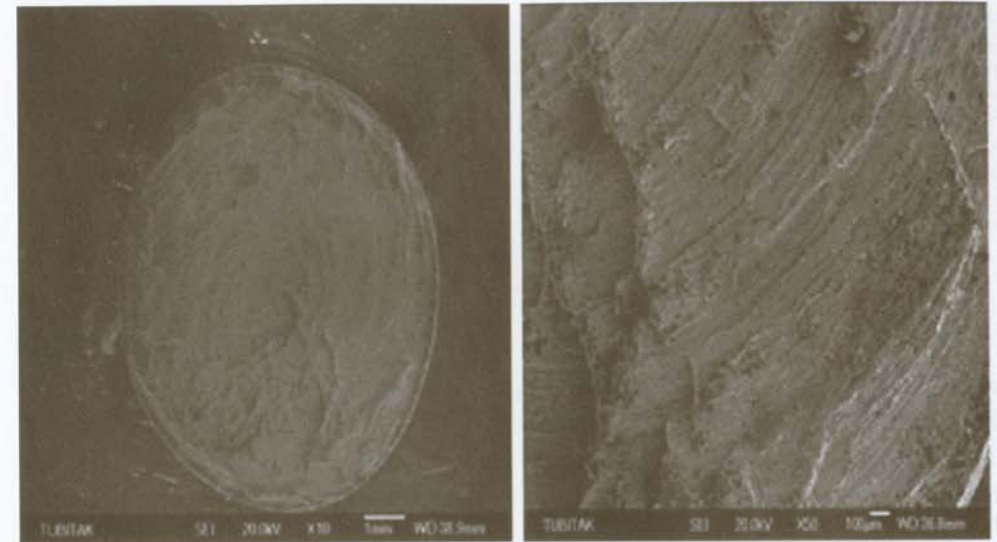


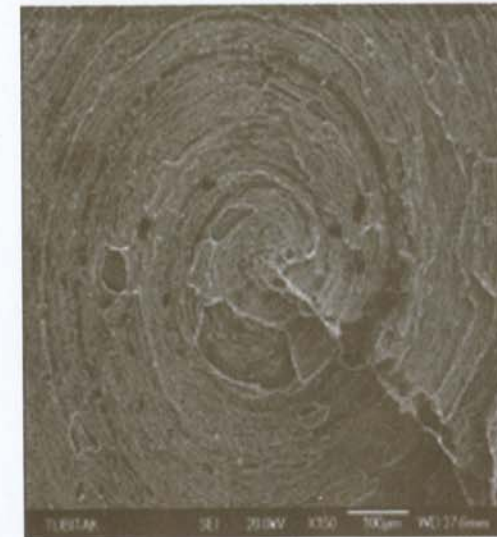
Fig. 6: Average elongation % of welded samples and AISI 304, AISI 1040

Bild 6: Mittlere Dehnung (in %) der geschweißten Proben sowie von AISI 304, AISI 1040

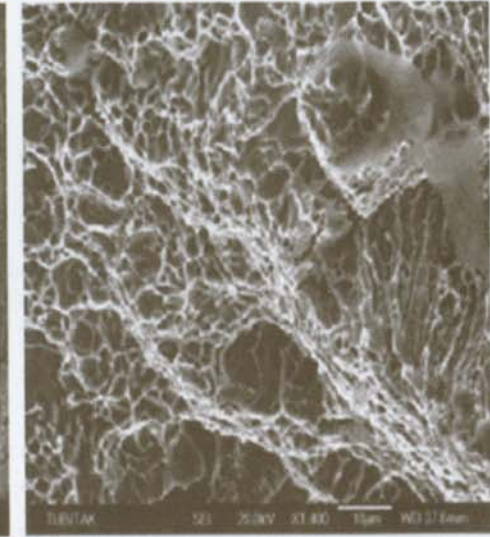


(a)

(b)



(c)



(d)

Fig. 7: SEM pictures of the tensile fracture surface of sample 7

Bild 7: REM-Bilder der Zug-Bruchflächen von Probe 7

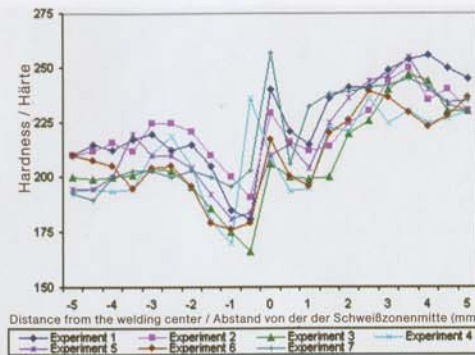
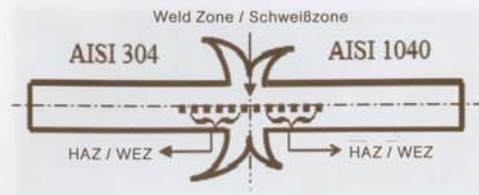


Fig. 8: Hardness variations on longitudinal distance

Bild 8: Härteveränderungen in Längsabstand

hardness values were measured. Fig. 8 shows hardness variation in the heat affected zones, and welding zones. Generally, hardness increments have been observed at the weld zone. There are some decrements on both sides of the weld zone (heat affected zone) when it is compared with the parent materials. There were no changes in the parent materials' hardness.

There are not big differences on the hardness of the welding samples at the same zones. Highest hardness values of the weld zone have been measured at the sample 7, these samples also have highest strength the values. The sample 3 has the lowest hardness value in the same zone; this sample also has the lowest strength values. During the welding process, some Cr of AISI 304 diffusions have been observed to the AISI 1040 side, this has been determined by the EDS analysis, which is going to be explained in the following section. These Cr transformations and gatherings have resulted as chromium carbides by the heat effect. It is assumed that occurrence of Chrome-carbide increases the hardness of this zones [11-14]. It is also assumed that the hardness increase of the welding zone can be originated from occurrences of the martensite, and intermetallic phases [7, 15].

The sample 7 (Pf =162 MPa, Pu = 121.5 MPa) has a very narrow weld zone, and high hard-

flussten Zonen und Schweißzonen gemessen. Bild 8 zeigt die Härtevariation in den wärmebeeinflussten und Schweißzonen. Bekanntermaßen wurde in der Schweißzone eine Härtezunahme beobachtet. Beidseitig der Schweißzone (wärmebeeinflusste Zone) nahm im Vergleich zu den Ausgangswerkstoffen die Härte ab. Es traten keine Veränderungen in der Härte des Ausgangs-Werkstoffes auf.

Die Härte der Schweißproben weist in diesen Zonen keine erheblichen Unterschiede auf. Der größte Härtewert der Schweißzone wurde bei Probe 7 gemessen, diese Proben haben auch die größten Festigkeitswerte. Probe 3 weist den niedrigsten Härtewert in dieser Zone auf; diese Probe hat auch die niedrigsten Festigkeitswerte. Während des Schweißens wurde beobachtet, dass Cr aus AISI 304 zur Seite von AISI 1040 hin diffundierte. Dies wurde mittels EDS-Analyse ermittelt, die im folgenden Abschnitt besprochen wird. Diese Cr-Übergänge und Ansammlungen lagen als Chromkarbide durch die Wärmewirkung vor. Es wird angenommen, dass das Vorhandensein von Chromkarbid die Härte dieser Zonen erhöht [11-14]. Es wird weiterhin angenommen, dass der Härteanstieg der Schweißzone auf das Vorhandensein des Martensits und der intermetallischen Phasen [7, 15] zurückgeführt werden kann.

Die Probe 7 (Pf=162 MPa, Pu = 121,5 MPa) weist eine sehr schmale Schweißzone und eine hohe

ness. Additionally, the weld temperature is higher than that of the other samples during the welding process. This high temperature and fast cooling of this part result in internal stresses. It may be accepted that applying upset pressure lower than the friction pressure for this sample cannot remove the intermetallic phases and carbides, which increase the hardness value of the zones.

Macro and Micro Structure

When the microstructure of the samples has been investigated, the size of grains was reduced and directed because of the upset pressure, rotational forces, and existing heat. The grains have gained some columnar structure from the centre to the flashes with some angle. At the same time, with effect of the upset pressure and heat, some directed grains have been observed. Fig. 10 shows optical pictures of welding and heat affected zones of the AISI 304 and AISI 1040 which are joined by friction

Härte auf. Zusätzlich ist die Schweißtemperatur höher als die der anderen Proben während des Schweißprozesses. Diese hohe Temperatur und das schnelle Kühlen des Teiles führen zu Eigenspannungen. Es darf angenommen werden, dass die Anwendung eines im Verhältnis zum Reibdruck geringeren Stauchdruckes für diese Probe nicht in der Lage ist, die intermetallischen Phasen und Karbide, die die Härte der Zonen erhöhen, zu beseitigen.

Makro- und Mikrogefüge

Während der Untersuchung des Mikrogefüges der Proben wurde die Korngröße reduziert und gerichtet infolge Stauchdruck, Fliehkräften und vorhandener Wärme. Die Körner nahmen eine gewissermaßen basaltartige Form an, die beginnend vom Mittelpunkt zu den Grat hin unter einem Winkel verläuft. Gleichzeitig wurden mit Wirkung von Stauchdruck und Wärme einige gerichtete Körner beobachtet. Bild 10 zeigt die Aufnahmen der Schweiß- und wärmebeeinflussten Zone von AISI 304 und AISI 1040, die mittels Reibschweißen gefügt wer-



Tab. 5: Flash widths and diameters for sample 4 and 7

Tab. 5: Gratbreiten und -durchmesser für Probe 4 und 7

Sample / Probe	AISI t304		AIS 1040	
	Flash width / Gratbreite (mm)	Flash diameter / Grattendurchmesser (mm)	Flash width / Gratbreite (mm)	Flash diameter / Grattendurchmesser (mm)
Sample / Probe 4	2,25	13,90	3,80	16,25
Sample / Probe 7	3,35	14,80	6,25	17,25

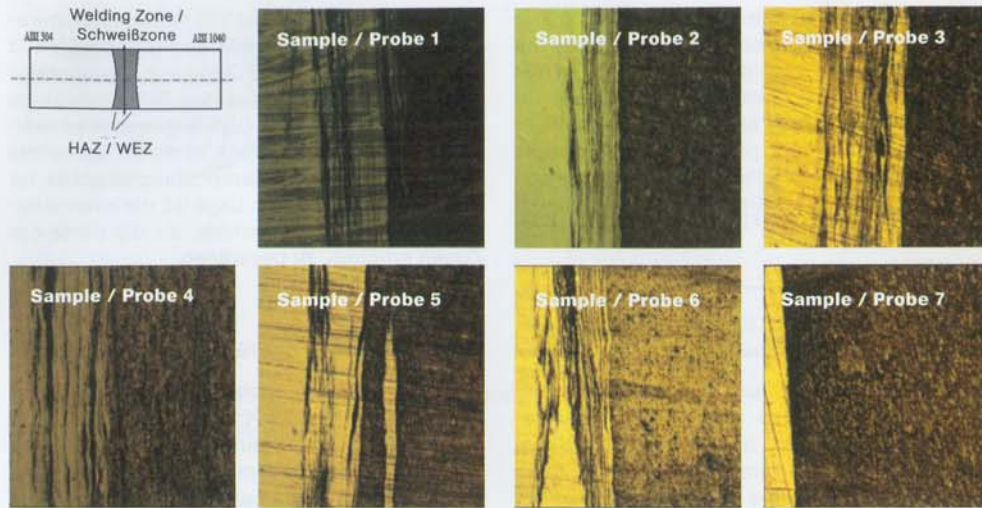


Fig. 9: Optic microstructure of the welding zones of the samples that have been welded in different parameters (200X)

Bild 9: Darstellung des Mikrogefüges der Schweißzonen der Proben, welche mit unterschiedlichen Parametern geschweißt wurden (200X)

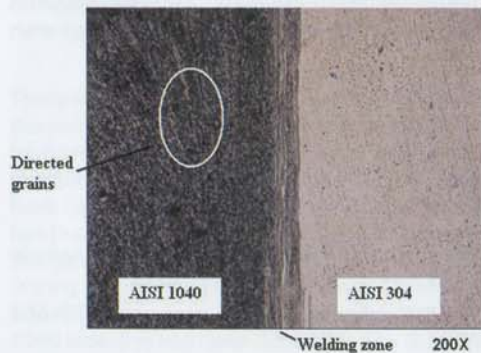


Fig. 10: Directed grains in the welded materials
Bild 10: Kornausrichtung in den geschweißten Materialien

welding. Fig. 10 shows that the size of the grains have been reduced and directed to the outside, which transferred heat with effect of pressure and temperature, especially this is in the HAZ of the AISI 1040 that heat was more affected. Fig. 11 presents different points for the optical microscope pictures, which were for welding zone, the HAZ, and parent materials. This

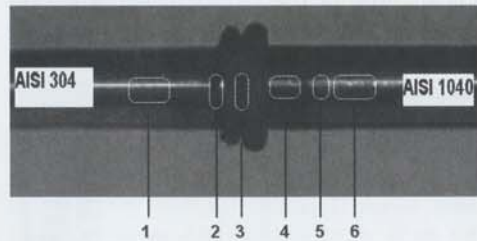


Fig. 11: The points of microscope pictures in welded samples.

Bild 11: Bereiche der Mikroskopischen Aufnahmen der geschweißten Proben

den. Bild 10 zeigt, dass sich die Korngröße verringerte und nach außen hin gerichtet ist, wodurch ein Wärmeübergang mit Wirkung von Druck und Temperatur erfolgte, insbesondere in der wärmebeeinflussten Zone von AISI 1040, die stärker wärmebeeinflusst war. Bild 11 stellt verschiedene Punkte für die Aufnahmen mittels Lichtmikroskopie dar, die für die

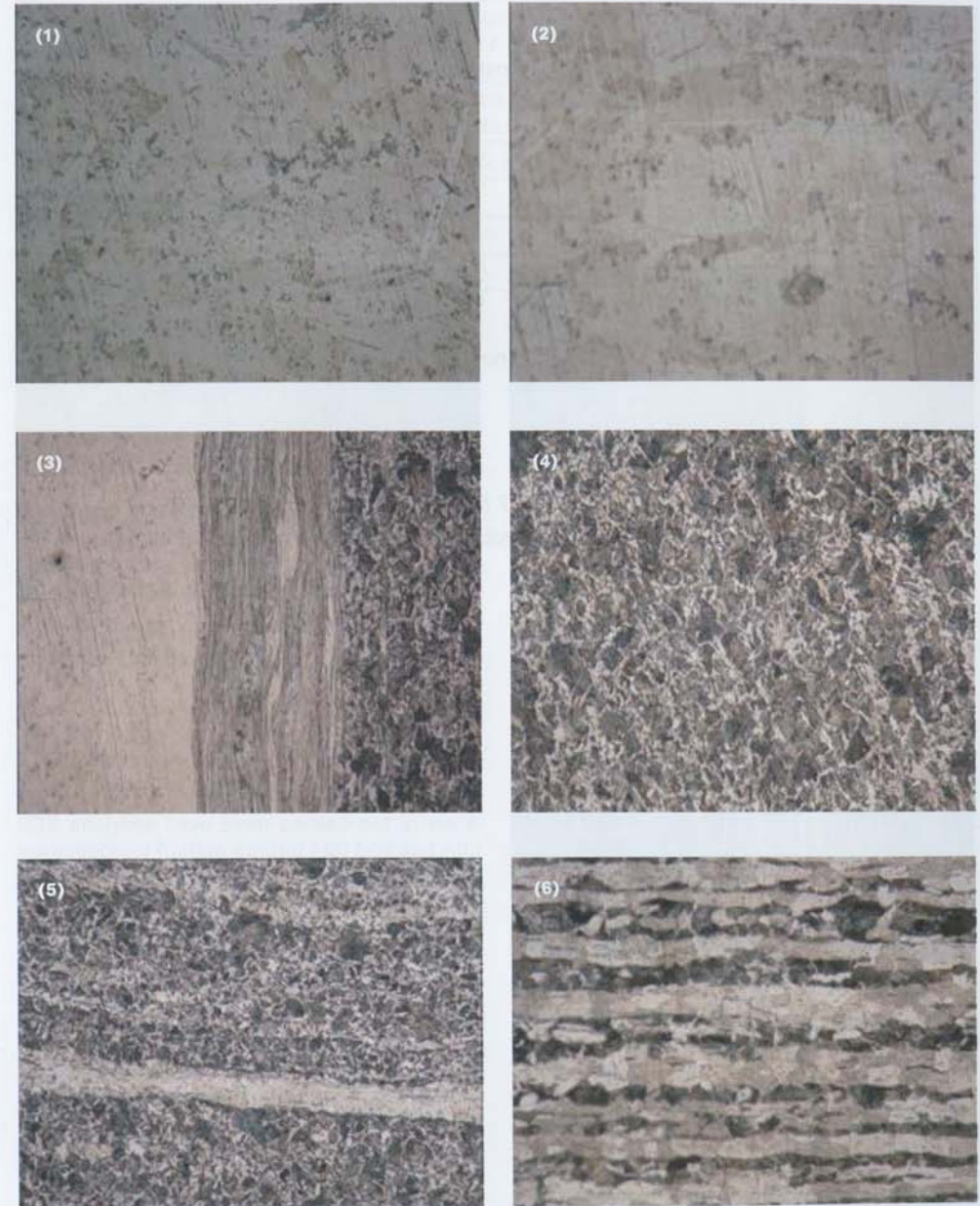


Fig. 12. Optical microscope pictures of the sample 4 (Pt=81 MPa, Pu=162 MPa) (500X)
Bild 12. Optische Mikroskopieaufnahmen der Probe 4 (=81 MPa, Pu=162 MPa) (500X)

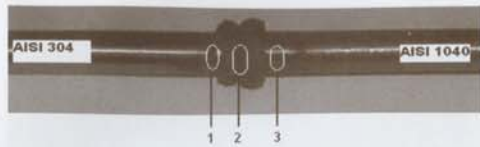


Fig. 13: Optical microscope pictures of sample 7 (Pt=162 MPa, Pu=121.5 MPa) (500x)
 Bild 13: Optische Mikroskopieaufnahmen der Probe 7 (Pt=162 MPa, Pu=121.5 MPa) (500x)

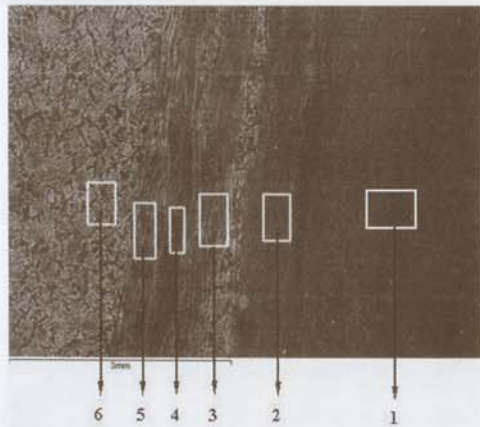


Fig. 14 : EDS analysis points for sample 4
 Bild 14: Punkte der EDX-Analyse für Probe 4

exemplifies sample 4 that has good mechanical properties. From seven different condition samples, it has been observed that some microstructural changes have occurred on the side of AISI 304 steel. Except from the conditions of sample 7, all conditions of the samples show material diffusions in the welding zone by the effect of heat and pressure. The conditions of sample 7 show that welding zones have oc-

Schweißzone, die wärmebeeinflusste Zone und die Ausgangs-Werkstoffe angefertigt wurden. Als Beispiel dient Probe 4 mit guten mechanischen Eigenschaften. Aus sieben verschiedenen Zustandsproben wurde beobachtet, dass gewisse Veränderungen im Mikrogefüge auf der Seite des AISI 304-Stahls auftraten. Mit Ausnahme der Beschaffenheit von Probe 7 zeigt die Beschaffenheit der (übrigen) Proben

	(1) AISI 304	(2) AISI 304	(3) Welding zone / Schweißzone	(4) Welding zone / Schweißzone	(5) AISI 1040	(6) AISI 1040
Element	Weight% / Gewichts-%	Weight% / Gewichts-%	Weight% / Gewichts-%	Weight% / Gewichts-%	Weight% / Gewichts-%	Weight% / Gewichts-%
Cr K	13.68	7.56	2.85	3.88	2.04	-
Mn K	2.12	1.46	-	-	-	1.39
Fe K	78.44	87.44	96.39	94.54	97.04	98.61
Ni K	5.75	3.40	0.76	1.58	0.93	-

Tab. 6: Composition of the welded sample

Tab. 6: Zusammensetzung der geschweißten Proben

curred as a line shape. It may be thought that the upset pressure was less than friction pressure; there is no material transition in this type of welding process (see Fig. 13). The sample 4 has been investigated by the SEM and material transitions were existed with effect of the pressure and heat, these can be seen in Fig. 14.

Werkstoffdiffusionen in der Schweißzone infolge Wärme und Druck. Die Bedingungen von Probe 7 zeigen auf, dass die Schweißzonen in linearer Form auftreten. Es darf angenommen werden, dass der Stauchdruck niedriger als der Reibdruck war; es findet in dieser Art von Schweißverfahren kein Werkstoffübergang statt (siehe Bild 13). Probe 4 wurde mittels REM untersucht und die Materialübergänge mit Druck und Wärme angeregt (siehe hierzu Bild 14).

EDS Analysis

For deciding on range of material transitions, EDS analyses have been carried out in welding section of friction welded AISI 304 and AISI 1040. Especially, sample 4 has been selected for the EDS analysis, which shows good mechanical properties and noticeable material transitions. The EDS analysis' points can be seen in Fig. 14, the values of the EDS analysis are presented in Tab 6.

EDS-Analyse

Zur Erkennung der Materialübergänge wurden die Schweißzonen der Proben (AISI304 und AISI 1040) einer EDS Analyse unterzogen. Probe 4 wurde bevorzugt hierfür ausgewählt, da diese gute mechanische Eigenschaften und klare Materialübergänge aufweist. Die EDS-Messstellen sind in Bild 14 eingetragen. Die zugehörigen EDS-Werte sind in Tab. 6 zu finden.

From investigation of the EDS analysis of the sample 4, the Cr ratio of the AISI 304 steel side was decreased, see the points 1 and 2 of the Fig. 14 and Tab. 6. This caused that during the welding process, the pressure and temperature effect to the transition of materials and partial the Cr diffusion to the side of AISI 1040 steel. In the sample 7, from AISI 304 to the welding zone, there is not much change from the original composition of the parent material. There is no material transition and diffusion on sample

Nach der EDS-Analyse von Probe 4, ist der Cr-Gehalt im AISI 304 Stahl abgesunken. Siehe hierzu die Messpunkte 1 und 2 des Bildes 14 in Tab. 6. Ursache für dies ist der Einfluss des Drucks und der Temperatur während des Schweißvorgangs und zusätzlich noch die Diffusion von Cr zur AISI 1040 Seite. Probe 7 zeigt keinen erkennbaren Unterschied in der chemischen Zusammensetzung zwischen dem Werkstück und der Schweißzone. Es gibt keinen Materialübergang und auch keine Diffusion in

7, which has lower upset pressure than friction pressure conditions.

Conclusions

1. In this study, AISI 304 and AISI 1040 steels have been joined by friction welding within different experimental parameters. The successful joints have been occurred with all the used parameters. Therefore, welding zones and heat affected zones have been investigated on mechanical properties and micro structures.
2. During the friction welding experiments, heat changes of the welding zone have been followed by an infrared thermometer that can measure between 200 – 1800 K with step-size 1 K. It was observed that friction pressures and welding zone temperatures are proportional. In the beginning of the process, the temperature increment is higher than the friction increment, which is reduced. This may be thought that reason of this change is, in the beginning of this process friction coefficients of the parts are higher than friction coefficients of the parts that are reduced because of the heat effect on the parts (see Fig. 3).
3. When the longitudinal hardness of the joined parts was investigated and compared with parent materials, generally hardness increments have been observed on the welding zone. This may be concluded from the increments, which are the result of residual strengths of high heat effects, sedimentation of Chromium carbide, hardness from the deformation, and hardness of inter-metallic phases. Furthermore, hardness increment of the side of AISI 1040 may be caused by Chromium carbide and inter-metallic formations that are the result of upset pressure.
4. Microstructure investigations show three different sections in the joined parts of the friction welding. The first section is the welding zone that is high heat affected and plastically deformed. The second section is the HAZ (heat affected zone) that on the side of

Probe 7, welche bei einem geringeren Stauch- als Reibdruck geschweißt wurde.

Zusammenfassung

1. In dieser Arbeit wurden Bauteile aus AISI 304 Stahl und AISI 1040 Stahl, mittels Reib- rührschweißen bei unterschiedlichen Para- metern zusammengefügt. Die erfolgreichen Verbindungen wurden unter Verwendung aller Parameter erreicht. Hierzu wurden die mechanischen Eigenschaften und Mikro- strukturen der Schweißzone und der Wär- meeinflusszone untersucht.
2. Die Temperaturschwankungen der Schweiß- zone wurden während des Schweißens mit einem Infrarotthermometer gemessen (Messbereich: 200 – 1800°C, Auflösung: 1°C). Die Temperatur der Schweißzone zeigte sich dabei proportional zum Stauch- druck. Zu Beginn des Schweißvorgangs ist die Temperaturzunahme geringer als die ge- minderte Druckzunahme. Dies könnte daher rühren, dass höher gelegene Bereiche einen höheren Reibungskoeffizienten aufweisen als niedrigere Bereiche (Bild 3).
3. Ein Vergleich longitudinal zu der Verbin- dung aufgenommenen Härtewerte zeigt einen Anstieg der Härte in der Schweißzo- ne. Dieser Härteanstieg kann durch unter- schiedliche Effekte erklärt werden wie z.B. durch die Erhöhung der Eigenspannungen bei erhöhten Temperaturen, Ausschei- dung von Chromkarbiden, Verformungen und eine Erhöhung des Anteils interme- tallischer Phasen. Auf der AISI 1040 Seite könnte der Härteanstieg zudem durch eine Formierung von Chromkarbiden und intermetallischen Phasen erklärt werden, verursacht durch den Stauchdruck.
4. Eine Untersuchung der Mikrostruktur der Reibschweiß-Verbindungen zeigt drei unterschiedliche Bereiche. Der erste Bereich ist die stark wärmebeeinflusste und plas- tisch deformierte Schweißzone. Der zweite Bereich ist die Wärmeeinflusszone auf der

AISI 1040 and the third is also HAZ of AISI 304. There are not many changes on the third section. The reason for this could be, that the temperature and pressure are not very high for the deformation of AISI 304.

5. In sample 7, the upset pressure was lower than the friction pressures; the welding zone appeared as a line. Reason for this is that the upset pressure is not high enough for diffusion. However, this sample has the highest strength and third highest elongation value among the samples.
6. Carried out EDS analysis show that Cr composition is reduced in the HAZ of AISI 304, and Cr composition is increased in the welding zone and HAZ of AISI 1040 (see Fig. 14). As seen in Fig. 13, during welding process, the upset pressure and temperature cause the transition of Cr and Cr diffusion to the side of AISI 1040 steel. This also affects hardness decrement of the AISI 304 side. High temperature increment introduces chromium-carbide formations that are also effect to hardness increment on the welding zone.
7. Authors assumed that optimum welding parameters determined in the experimental studies conducted, namely rotation speed, friction pressure, friction time, upset pressure and upset time were obtained as 3000 rev/min, 81 MPa, 6s, 162 MPa and 6 s respectively in the joining process of AISI 304 and AISI 1040 steel using friction welding process. However, sample 7 has some exemptions on deciding optimum welding parameters such as upset pressure. As a consequence, this forces further studies and experiments on the field.

Seite vom AISI 1040-Stahl und der dritte Bereich ist die Wärmeeinflusszone des AISI 304-Stahls. Der dritte Bereich zeigt keine großen Veränderungen. Der Grund hierfür könnte sein, dass weder der Druck, noch die Temperatur sehr hoch sind.

5. Bei der Probe 7 war der Stauchdruck geringer als der Reibdruck, wodurch die Schweißnaht linienförmig wurde. Grund hierfür ist, dass der Stauchdruck nicht hoch genug für Diffusion ist. Dennoch hat die Probe die höchsten Härtewerte unter den Proben, gemessen in longitudinaler Richtung.
6. Durchgeführte EDS-Analysen zeigen einen reduzierten Chromanteil in der Wärmeeinflusszone vom AISI 304 und einen Anstieg des Chromanteils in der Wärmeeinflusszone vom AISI 1040 (siehe Bild 14). Wie man in Bild 13 erkennen kann, bewirkt der Stauchdruck und die Temperatur einen Chromübergang und eine Chromdiffusion zur Seite des AISI 1040 Stahl. Höhere Temperaturen bewirken die Bildung von Chromkarbiden welche ebenfalls die Härte beeinflussen.
7. Die Autoren schlussfolgern, dass die optimalen Schweißparameter bei 3000 1/min Umdrehungen, 81 MPa Reibdruck, 6 s Reibdauer, 162 MPa Stauchdruck und 6 s Stauchzeit liegen. Dies gilt speziell für die Verbindung von AISI 304-Stahl mit AISI 1040-Stahl. Allerdings erwies sich Probe 7 als Ausnahme was die optimalen Schweißparameter wie Stauchdruck angeht. Dies zeigt, dass hier weitere Untersuchungen notwendig sind.

References/Literatur

- [1] Meshram, S.D.; Mohandas, T.; Madhusudhan Reddy, G.: Friction welding of dissimilar pure metals. *J Materials Processing Technology* 2008;184:330-7.
- [2] Sathiya, P; Aravindan, S; Noorul Haq, A.: Some experimental investigations on friction welded stainless steel joints. *Materials and Design* 2007;29:1099-109.
- [3] AWS, Resistance and Solid-state Welding and Other Joining Processes, *Welding Handbook*, Miami, (1980), 240
- [4] Chalmers, R.E.: *The Friction Welding Advantage*. *Manufacturing Engineering* 2001; 126:64-5.
- [5] Dinç, D.: "Investigation of Weldability of AISI 1040 and AISI 304 Steels by Friction Welding", M. Sc. Thesis, Balikesir University, Institute of Science, Department of Mechanical Engineering, (2006)
- [6] Satyanarayana, V.V.; Madhusudhan Reddy, G.; Mohandas, T.: "Dissimilar metal friction welding of austenitic-ferritic stainless steels", *Journal of Materials Processing Technology*, 160 (2005), 128
- [7] Lee, W.; Kim, Y.; Jung, S.: "Effects of copper insert layer on the properties of friction welded joints between TiAl and AISI 4140 structural steel", *Intermetallics* 12, (2004), 671
- [8] Kato, M.; Kagaya, C.; Kawaguchi, Y.; Tokisue, H.: "Influence of normalization on impact fracture behaviour of friction welded joints", *Society of Mechanical Engineers*, (1996), v62, n602, p2236
- [9] Celik, S.; Ersözlü, I.: "Investigation of the Mechanical Properties and Microstructure of Friction Welded Joints Between AISI 4140 and AISI 1050 Steels", *Materials and Design*, Article in Press, 2008
- [10] www.labthink.cn, Labthink Instruments Co. Material friction coefficient and temperature 2006.
- [11] Chenje, T.W.; Simbi, D.J.; Navara, E: Relationship between microstructure, hardness, impact toughness and wear performance of selected grinding media for mineral ore milling operations. *Materials and Design* 2004; 25:11-8.
- [12] Sahin, M.: "Evaluation of the joint interface properties of austenitic-stainless steels (AISI 304) joined by friction welding", *Materials and Design*, (2006),
- [13] Silva, A.; Meyer, A.; Santos, Jorge., Kwietniewski, C.; Strohaecker, T.: "Mechanical and metallurgical properties of friction-welded TiC particulate reinforced Ti-6Al-4V", *Composites Science and Technology*, 64, (2004), 1495
- [14] Sereign, S.A.; Sabantsev, V.P.: "The Friction Welding of Plastically Deformed Steel", *Weld. Prod.*, (1980), 34
- [15] Lakhkar Ritesh, S; Shin Yung, C: Krane M.J.M.: Predictive modeling of multi-track laser hardening of AISI 4140 steel. *Materials Science and Engineering A* 2008; 480:209-17.

Correspondence address / Korrespondenzanschrift:

^{1*} Mechanical Eng. Dept. of Balikesir University, Cagis Campus, 10145, Balikesir, Turkey, scelik@balikesir.edu.tr

² General Directorate of Highways, Canakkale, Turkey

³ Industrial Eng. Dept. of Balikesir University, Cagis Campus, 10145, Balikesir, Turkey

⁴ Mechanical Eng. Dept. of Balikesir University, Cagis Campus, 10145, Balikesir, Turkey

Sare Celik

01.03.1966 Balikesir, she has studied at mechanical engineering in Uludag University. She completed MSc. in Uludag University at mechanical engineering, then completed her PhD. in Balikesir University about diffusion welding. She works department of mechanical engineering and is interested in special welding methods, material science, and microstructure

Dincer Dinc

19.07.1980 Balikesir, he has studied at mechanical engineering in Balikesir University, and he has completed his MSc. in Balikesir University about friction welding. He works for General Directorate of Highways, Canakkale Branch



Den Beitrag als PDF finden Sie unter:
PDF of this article:

www.practical-metallography.com
Dokumenten-Nummer: PM110040

BILD DES MONATS / PICTURE OF THE MONTH



Barracuda

REM-Aufnahme einer Messing-legierung

SEM-picture of a brass alloy

Monika Dalcolmo,
TÜV NORD MPA, Leuna