

Metallografie von Schweißverbindungen

Application Notes

Bis zum Ende des 19. Jahrhunderts wurden Metallteile durch Aufbringung von Druck im teigigen Zustand verbunden, z.B. Hämmern, dem so genannten Feuerschweißen. Heute gibt es eine Reihe von verschiedenen Verfahren, so dass Schweißen häufig zum Zusammenfügen von Materialien in einer Vielzahl von Zusammensetzungen, Formen und Größen bei Produktionsvorgängen eingesetzt wird.

In den verschiedenen Produktionsbereichen der Industrie wird eine Reihe von unterschiedlichen Schweißverfahren angewandt:

- Luft und Raumfahrt, z.B. an Flügeln und Rümpfen
- Schiffsbau und Seefahrtindustrie, Deckplatten- und Aufbauten
- Transport- und Automobilindustrie
- Öl- und petrochemische Industrie, Bohrseln und Pipelines.
- Haushaltsgeräte und Metallmöbel

In der Produktionskontrolle, Forschung und Fehleranalyse wird die Metallografie eingesetzt um eine Schweißung in verschiedenen Hinsichten zu prüfen. An repräsentativen Werkstücken werden



Lichtbogenschutzgasschweißen



z.B. Größe und Anzahl der Schweißnähte, Einbrandtiefe, Ausmaß der wärmebeeinflussten Zone, und Fehler wie Poren und Risse überprüft.

Da Schweißen mit vielen verschiedenen Werkstoffen durchgeführt werden ist es erforderlich eine entsprechend geeignete metallografische Präparationsmethode zu wählen.

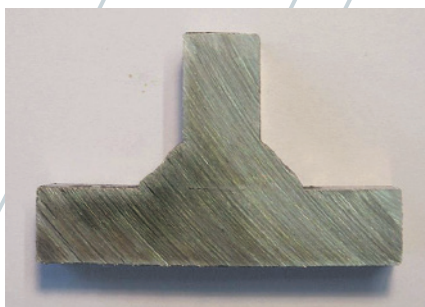


Mehrlagige Edelstahlschweißung, farbgeätzt nach Lichtenberger und Bloech. Hellfeld, 6.5x.

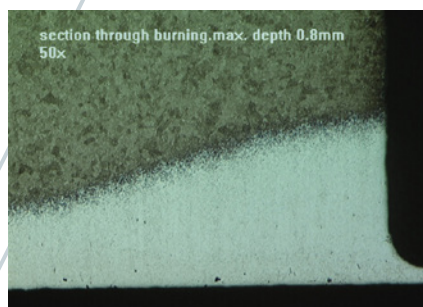
Schwierigkeiten während der metallografischen Präparation

Durch das Trennen verursachte Wärmeschäden müssen vermieden werden, da sie das Gefüge und die Eigenschaften der Schweißnaht verändern können.

Um ein Relief in der Schweißnaht und im Gefüge zu vermeiden, das durch die verschiedenen Materialeigenschaften und Härten der Werkstoffe hervorgerufen werden kann, sind gute Kenntnisse des Präparationsvorgangs notwendig.



Durch Trennen verursachte Wärmeschäden an einer Stahlschweißung.



Polierte und geätzte Schliff zeigt die Tiefe der Verbrennung durch das Trennen. Hellfeld, 50x.

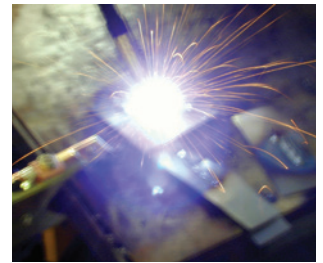
Lösung

Um Verbrennungen beim Trennen zu verhindern ist es wichtig die richtige Trennscheibe für den Werkstoff und die entsprechenden Trennparameter zu wählen.

Die Auswahl der Präparationsmethode richtet sich nach den Werkstoffen der Schweißung und sollte so optimiert werden, dass das Risiko der Reliefbildung zwischen harten und weichen Phasen in der Schweißung, der wärmebeeinflussten Zone und dem Grundmaterial auf ein Minimum beschränkt wird.

Verbindungs- verfahren durch Wärme

Schweißverfahren



Die Verfahren zum Verbinden von Metallen und ihren Legierungen sind

- Weichlöten*
- Hartlöten**
- Schweißen

Folgende Merkmale unterscheiden das Schweißen vom Weich- und Hartlöten:

- Beim Weichlöten (Abb.1) und Hartlöten (Abb. 2) wird ein Werkstoff mit einem niedrigeren Schmelzpunkt als der Schmelzpunkt der zu verbindenden Teile verwendet. Das geschmolzene Lot verbindet die beiden Teile.
- Beim Schweißen werden die zu verbinden den Teile an der zu schweißenden Stelle bis über den Schmelzpunkt erhitzt um eine Verschmelzung herbeizuführen.
- Daraus ergeben sich in der Nähe der Schweißnaht komplexe chemische und metallurgische Veränderungen in den Werkstoffen.
- Diese Veränderungen im Mikrogefüge können einen tiefgehenden Einfluss auf die Eigenschaften der Schweißnaht und somit die Eignung für eine bestimmte Verwendung des geschweißten Teils haben.

*Weichlöten: Löten ist ein Vorgang bei dem zwei Metalle mit einem dritten Metall oder einer Legierung zusammengefügt werden das einen relativ niedrigen Schmelzpunkt

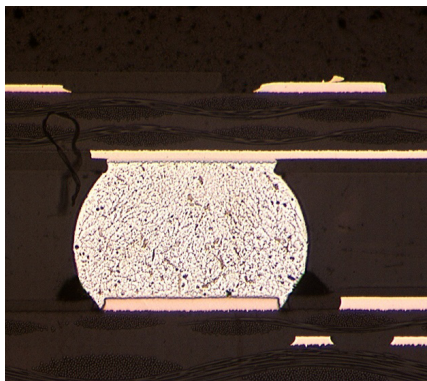
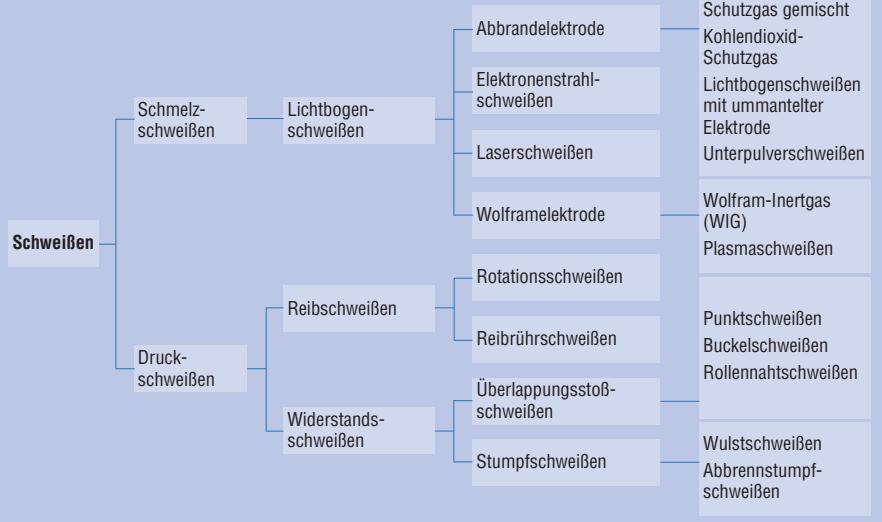


Abb. 1: Schliff durch eine gedruckte Schaltung zeigt eine Lotkugel zwischen Kupferleiterbahnen, Hellfeld, 100x.

Einige der herkömmlichen Schweißverfahren sind in diesem Diagramm angegeben

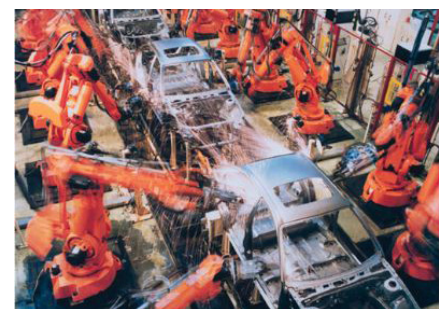


hat. Weichlöten wird durch den Schmelzpunkt des dritten Metalls oder der Legierung charakterisiert, der unter 450°C liegt. Dieses dritte Metall oder die Legierung wird als Lot bezeichnet.

**Hartlöten: Hartlöten erfolgt bei der Schmelztemperatur des Füllmaterials (z.B. 870°C bis 980°C für Bronzelegierungen) die oft beträchtlich niedriger liegt als der Schmelzpunkt des Grundwerkstoffs (z. B. 1600°C für unlegierten Stahl).

Generell ist die Schweißung eine Verbindung zwischen zwei oder mehreren Metallteilen bei denen die zusammenzufügenden Oberflächen durch Hitze in einen plastischen (z.B. Reibschweißen Abb. 3) oder flüssigen Zustand versetzt werden, entweder mit oder ohne Schweißzusatzwerkstoff oder auch mit oder ohne Druck.

Jedes Verfahren hat eigene typische Eigenschaften z.B. Einbrandtiefe, Schweißgeschwindigkeit, Schlackenbildung, Wärmezufuhr, Eigenschaft der Schweißung usw., was wiederum einen beträchtlichen Einfluss auf die Einzelheiten der Gefügeausbildung hat.



Schweißroboter

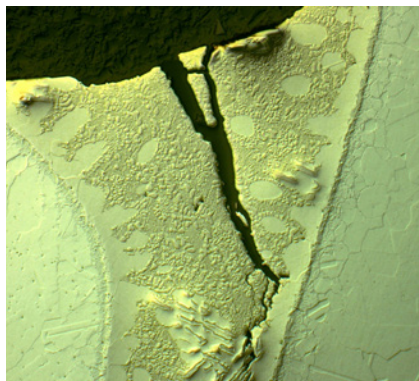


Abb. 2: Schliff durch die gerissene Verbindung eines austenitischen Stahls mit Hartlot aus einer Kupferlegierung. Differential-Interferenz-Kontrast, 100x.



Abb. 3: Verschmelzungsnah einer Druck-Reibschweißung eines niedrig legierten Stahls. Die damit verbundene plastische Verformung und Wärmeeinflusszone sind zu sehen. Hellfeld, 25x.



Schliff durch eine Elektronenstrahlschweißung einer Nickel-Basislegierung zeigt Stengelkristalle in der Schweißzone und einige Gasporen. Hellfeld, 50x.



Geschweißte Rohre

Infolgedessen erfordern Untersuchungen über die Auswirkungen eines bestimmten Schweißverfahrens eine sorgfältige metallurgische Prüfung von repräsentativen Schweißproben. Dabei ist es unerheblich ob eine generelle Aussage über die Integrität der Schweißung gemacht werden soll, die Zusammenhänge zwischen Gefüge und Eigenschaften untersucht oder die Art und Ursache von Fehlern ermittelt werden sollen. Die Genauigkeit der Gefügeuntersuchung und -interpretation ist auch abhängig von der Vorbereitung der Schläffe die keine durch die Präparation entstandenen Artefakte aufweisen dürfen.

Prüfproben von Schweißungen

Metallografische Grundsätze und Praktiken können zur Untersuchung von Schweißungen angewandt werden um eine Reihe von Zielen zu erreichen, die üblichsten werden nachstehend aufgeführt:

• Schweißer-Zulassung

Bei dieser Art von Prüfung schweißt ein Schweißer ein geeignetes Teststück unter vorgegebenen spezifischen Bedingungen. Dieses Teststück wird dann geprüft auf Maßhaltung, Begutachtung mit dem bloßen Auge, und Untersuchung eines Schläffs durch die Schweißung. Ist die Schweißung nach dem vorgegeben Standard ausgeführt, wird der Schweißer zugelassen diese Art von Schweißungen durchzuführen.

• Verfahrensfreigabe

Bei dieser Prüfung wird das Schweißverfahren bei einem bestimmten Werkstoff mit einer bestimmten Verbindungskonfiguration geprüft und zugelassen. Die Schweißung wird auf verschiedene Weisen geprüft von denen eine ein Schliff durch die Schweißverbindung ist. Normalerweise wird auch der Härteverlauf durch das Grundmaterial, die Wärmeeinflusszone und die Schweißung festgestellt.

• Qualitätskontrolle

Als integrierter Bestandteil der Produktion wird eine repräsentative Anzahl von Schweißproben getrennt und untersucht.

• Fehleranalyse

• Forschung und Entwicklung

Zwei Stufen der metallografischen Untersuchung

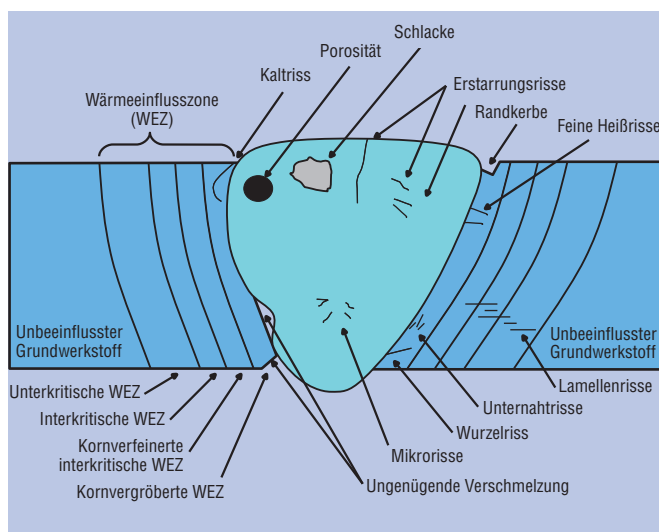
Die Untersuchung an metallografischen Schläffen von Schweißungen wird auf zwei Ebenen durchgeführt:

Makro: Stereomikroskopische Untersuchung bei bis zu 50facher Vergrößerung.

Mikro: Untersuchung mit dem optischen Mikroskop mit höheren Vergrößerungen (bis 1000fach).

Die makroskopische Untersuchung wird normalerweise an einem uneingebetteten Querschnitt einer Schweißung vorgenommen. Dazu wird die Schweißung getrennt und grob, bzw. fein geschliffen und anschließend geätzt.

Für die mikroskopische Untersuchung und den Härteverlauf ist eine gut polierte, plane Oberfläche erforderlich. Das bedeutet Trennen, Einbetten, Schleifen und Polieren. Dabei können bei jeder Stufe der Präparation Artefakte erzeugt werden. Bei Schweißungen trifft dies besonders zu, da über relativ geringe Abstände Gefügeunterschiede auftreten. Es können aber auch verschiedene Werkstoffe zusammengeschweißt sein die sehr unterschiedliche Eigenschaften haben.



Schematische Zeichnung zeigt die verschiedenen Bereiche der Wärmeeinflusszone einer einlagigen Schweißung und mögliche Fehler.

Empfehlungen für die Schliffpräparation von Schweißungen

TRENNEN

Für die meisten Proben zur Schweißerzulassung empfiehlt es sich den Trennschnitt für die Makroprobe quer zur Schweißrichtung durch Beginn- und Endpunkt der Schweißung vorzunehmen, da sich an diesen Stellen das Geschick eines Schweißers besonders zeigt und entsprechende Fehler auftreten können.

Zur Begutachtung der Schweißbarkeit und anderen Untersuchungen muss die Probe wirklich repräsentativ sein. Oft wird mit dem Schneidbrenner ein Stück aus einem größeren Teil herausgetrennt. Der eigentliche Schliff muss dann mit einer Nasstrennmachine daraus entnommen werden, wobei darauf geachtet werden muss, dass der Schnitt weit genug von der wärmebeeinflussten Stelle entfernt liegt die mit dem Schneidbrenner verursacht wurde.

Um Verformung und Überhitzung an der Trennfläche zu vermeiden ist es wichtig, dass:

- Die richtige Trennscheibe gewählt wird
- Ein geeigneter Vorschub verwendet wird
- Während dem Trennen ausreichend Kühlflüssigkeit zugeführt wird

EINBETTEN

Makroschliffe zur Verfahrensfreigabe werden wegen Zeitdruck normalerweise uneingebettet präpariert, und eine fein geschliffene Oberfläche ist für die makroskopische Begutachtung ausreichend. Für eine halbautomatische Präparation gibt es eine Reihe von Probenhaltern die uneingebettete Schliffe von Schweißproben aufnehmen können. Wenn Einbetten erforderlich ist kann entweder warm oder kalt eingebettet werden. Da Schweißproben oft relativ groß sind, können Kalteinbettungen auch in den rechteckigen Struers Einbettformen UnoForm vorgenommen werden, die Proben bis zu 120 x 60 x 45 mm aufnehmen können.



MECHANISCHE PRÄPARATION

Makroschliffe

Traditionell werden Makroschliffe von Schweißproben manuell auf Siliziumkarbid-Papier mit feiner werdenden Körnungen bis 1200 geschliffen. Diese Oberfläche ist normalerweise ausreichend für einen Härteprüfung von Grundwerkstoff, Wärmeeinflusszone und Schweißwerkstoff. Siliziumkarbid-Papier hat nur eine begrenzte Standzeit (1,0-1,5 Min) und das Schleifen wird bei größeren Schweißproben mühsam. Als Alternative bietet sich das manuelle Schleifen mit der Struers MD-Piano Scheibe an, die eine Reihe von Vorteilen hat:

- Eine längere Standzeit
- Eine gleich bleibende Abtragsrate über einen längeren Zeitraum
- Geeignet für einen größeren Härtebereich (HV150-2000).
- Weniger Abfall

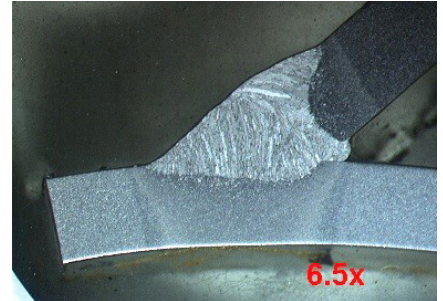
MD-Piano Scheiben sind kunststoffgebundene Diamantscheiben die zum Grob- und Feinschleifen von Werkstoffen im Härtebereich von HV150-2000 entwickelt wurden. Sie sind in Körnungen lieferbar die den Siliziumkarbid-Papier Körnungen von 80, 120, 220, 600, und 1200 entsprechen.

Mikroschliffe

Schweißproben können, bedingt durch Phasenänderungen während des Schweißens oder durch die Verbindung unterschiedlicher Werkstoffe, große Härteabweichungen über den Querschnitt aufweisen. Die Schweißzone kann harte Ausscheidungen oder Schweißfehler enthalten. Deshalb ist es wichtig, dass die gewählte Präparationsmethode die Erhaltung



Rechteckige Einbettungen verschiedener Schweißungen.



Geätzter Makroschliff einer Metall-Inertgasschweißung (MIG) aus Kohlenstoffstahl, geätzt mit 4% Nital. Hellfeld, 6.5x

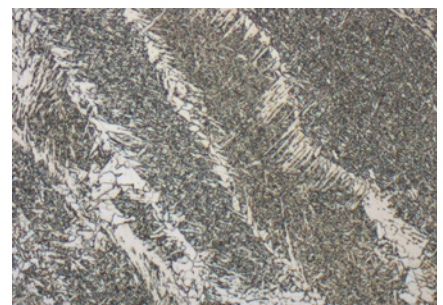
aller Gefügebestandteile gewährleistet und eine Reliefbildung so weit wie möglich verhindert. Deshalb sind halbautomatische oder automatische Präparationsgeräte zu empfehlen, da sie gleich bleibend reproduzierbare Polierergebnisse liefern, welche die genaue Gefügeanalyse erleichtern. Nicht alle Präparationsmethoden die den großen Bereich der verschiedenen Schweißungen abdecken können hier angesprochen werden.

Es werden jedoch nachfolgend vier Methoden für die am meisten vorkommenden Materialverbindungen genauer vorgestellt.

Schweißungen aus Kohlenstoffstahl und niedrig legiertem Stahl

Stufe	PG	FG	DP 1	DP 2
Oberfläche	MD-Piano 220	MD-Allegro	MD-Plus	MD-Nap
Abra-sive	Typ			
	Große			
Suspension / Lubrikant	Wasser	DiaPro Allegro/Largo 9	DiaPro Plus 3	DiaPro NapB 1
U/Min	300	150	150	150
Kraft (N)	150	210	180	150
Zeit	1 Min.	4 Min.	4 Min.	1 Min.

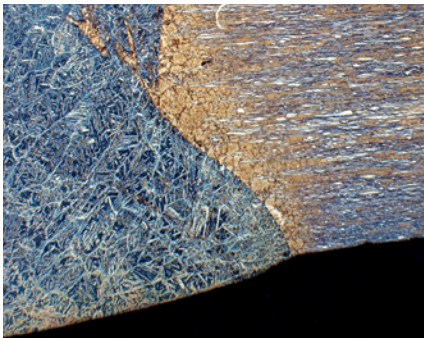
Gültig für 6 eingebettete Proben, 30 mm Ø, in einen Halter eingespannt. Alternativ zu DiaPro, können die DP-Suspensionen P, 9 µm, 3 µm und 1 µm mit blauem Schmiermittel verwendet werden.



Geätzter Mikroschliff einer Metall-Aktivgasschweißung (MAG) eines Kohlenstoffstahls. Das Gefüge besteht aus nadeligem und primärem Ferrit. Geätzt mit 2% Nital. Hellfeld, 200x

Titanschweißungen				
Stufe	PG	FG	DP 1	DP 2
Oberfläche	SiC #220	MD-Largo	MD-Dac	MD-Chem
Abra-siv	Typ			
	Große			
Suspension / Lubrikant	Wasser	DiaPro Allegro/Largo 9	DiaPro Dac 3	OP-A
U/Min	300	150	150	150
Kraft (N)	150	180	150	120
Zeit	1 Min.	5 Min.	4 Min.	2 Min.

Gültig für 6 eingebettete Proben, 30 mm Ø, in einen Halter eingespannt. MD-Largo kann durch MD-Plan ersetzt werden. Alternativ zu DiaPro, können die DP-Suspensionen P, 9 µm und 3 µm mit blauem Schmiermittel verwendet werden. MD-Chem mit OP-AA kann durch MD-Nap mit DiaPro NapB ersetzt werden.



Übergang Schweißung/Grundwerkstoff einer rostfreien Duplex-Stahl-Schweißung. Mechanisch präpariert, elektrolytisch geätzt mit 40% Natronlauge. Hellfeld, 25x.

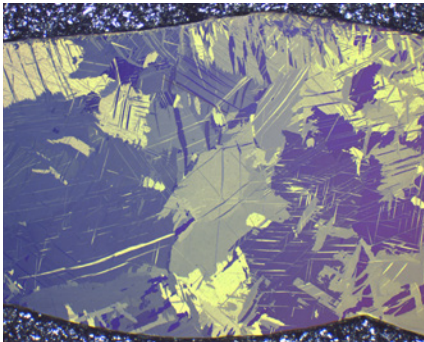


Gleicher Werkstoff, Detailansicht. Mikrogefüge der Schweißung besteht hauptsächlich aus Deltaferrit und Austenit. Hellfeld, 200x.

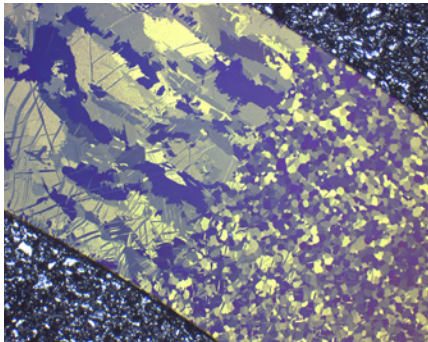
Aluminiumschweißungen (Reibrührschweißung)			
Stufe	PG	FG	OP
Oberfläche	SiC #220	MD-Largo	MD-Chem
Abra-siv	Typ		
	Große		
Suspension / Lubrikant	Wasser	DiaPro Allegro/Largo 9	OP-S*
U/Min	300	150	150
Kraft (N)	150	180	120
Zeit	1 Min.	5 Min.	5-10 Min.

Gültig für 6 eingebettete Proben, 30 mm Ø, in einen Halter eingespannt. Alternativ zu DiaPro, kann die DP-Suspension P, 9 µm mit blauem Schmiermittel verwendet werden.

*Hinweis: OP-S mit einem Zusatz von 10-30 Vol.-% Wasserstoffperoxid (30%).



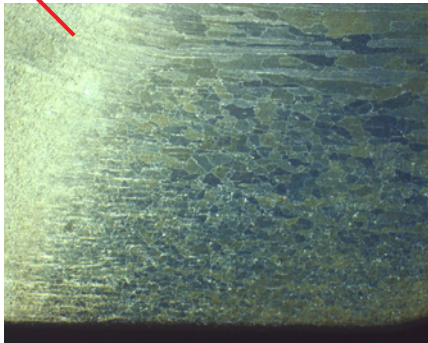
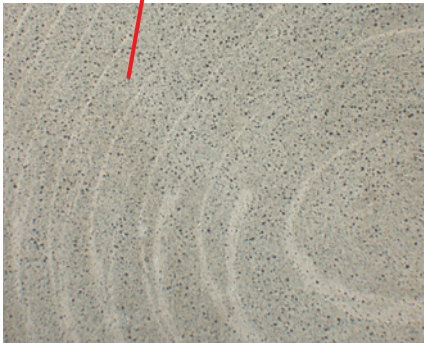
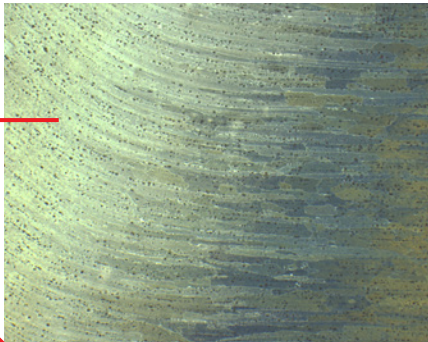
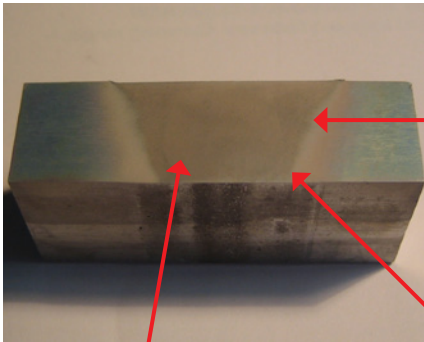
Schweißzone einer Schweißung aus α-Titan, mechanisch poliert. Die Schweißzone zeigt ein Widmanstättensches Gefüge. Polarisiertes Licht mit λ1/4-Plättchen, 50x.



Gleicher Werkstoff, Aufnahme zeigt den Übergang der wärmebeeinflussten Zone zum Grundwerkstoff. Polarisiertes Licht mit λ1/4-Plättchen, 50x.

Aluminiumschweißungen (Reibrührschweißung)				
Stufe	PG	FG	DP	OP
Oberfläche	SiC #220	MD-Largo	MD-Mol	MD-Chem
Abra-siv	Typ			
	Große			
Suspension / Lubrikant	Wasser	DiaPro Allegro/Largo 9	DiaPro Mol R 3	OP-S NonDry
U/Min	300	150	150	150
Kraft (N)	120	150	120	100
Zeit	1 Min.	5 Min.	4 Min.	1-2 Min.

Gültig für 6 eingebettete Proben, 30 mm Ø, in einen Halter eingespannt. Alternativ zu DiaPro, können die DP-Suspensionen P, 9 µm und 3 µm mit blauem und rotem Schmiermittel verwendet werden.



Aluminium Reibrührschweißung, extern geätzt nach Barker, 3 Min. mit 15V. Polarisiertes Licht mit λ1/4-Plättchen, 25x



Ätzen

ELEKTROLYTISCHES POLIEREN/ÄTZEN

In der Produktionskontrolle ist es nicht ungewöhnlich elektrolytisches Polieren/Ätzen für die Präparation von Makroschliffen von Schweißungen anzuwenden. Dazu werden die Schweißungen auf einer Trennmaschine durchgetrennt, anschließen nur auf einem Papier geschliffen und danach elektrolytisch poliert und geätzt. Das ergibt eine geeignete Probe für die Makrountersuchung deren Präparation einige Vorteile hat:

- Sie ist schnell.
- Leicht durchzuführen.
- schränkt den Kontakt mit Ätzmitteln ein
- Es ist eine geeignete Alternative für eine Reihe von rostfreien Stählen und anderen Metallen die chemisch nur schwer zu ätzen sind.

Wenn eine detaillierte Analyse des Mikrogefüges gemacht werden soll, muss die Probe vor dem elektrolytischen Polieren/Ätzen bis zur Körnung 1000 geschliffen werden.

In der nachfolgenden Tabelle sind die gebräuchlichsten chemischen und elektrolytischen Ätzmittel für Schweißverbindungen einer Auswahl von Werkstoffen angegeben.

Material	Ätzmittel	Bemerkungen
Kohlenstoff-stähle und niedrig legierte Stähle	100ml Ethanol (95%) oder Methanol (95%) 1-5 ml Salpetersäure (Nital)	Gutes Universal- Ätzmittel; kann für Makroätzung bis auf 15 ml Salpetersäure erhöht werden.
	100 ml destilliertes Wasser 10 g Ammoniumpersulfat	Gutes Makroätzmittel
Rostfreie Stähle	480 ml destilliertes Wasser 120 ml Salzsäure (32%) 50 g Eisen- (III)-chlorid	Makroätzmittel
	100 ml destilliertes Wasser 10 g Oxalsäure	Zum elektrolytischen Ätzen, einige Sekunden mit 4-6 Volt
	100 ml destilliertes Wasser 5 ml Schwefelsäure (95-97%)	Zum elektrolytischen Ätzen, einige Sekunden mit 2-4 Volt
Nickellegierungen	100 ml destilliertes Wasser 5 ml Schwefelsäure (95-97%)	Zum elektrolytischen Ätzen, einige Sekunden mit 3-6 Volt
Kupferlegierungen	100 ml destilliertes Wasser 10 ml Ammoniak (25%) mit einigen Tropfen Wasserstoffperoxid (3%)	Frisch verwenden
Aluminium-legierungen	100 ml destilliertes Wasser 15 g Natriumhydroxid	Makroätzmittel

Bei der Verwendung von Chemikalien und der Anwendung der Ätzmittel sind die vorgegebenen Sicherheitsbestimmungen einzuhalten.

METALLOGRAFIE

Makroschliffe

An geätzten Makroschliffen sind die Schweißzone, Wärmeeinflusszone, Aufschmelzgrenzen, Kornwachstum und die einzelnen Lagen in mehrlagigen Schweißungen zu erkennen. Zusätzlich Schweißfehler wie Risse, Poren/Lunker, ungenügende Verschmelzung und Einbrandtiefe können festgestellt werden.

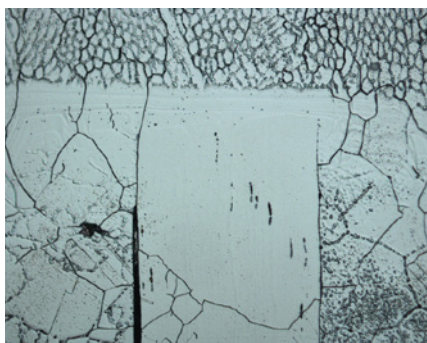
Mikroschliffe

Nachfolgend werden einige der herkömmlichen metallografischen Prüfungen die an Schweißverbindungen vorgenommen werden beschrieben:

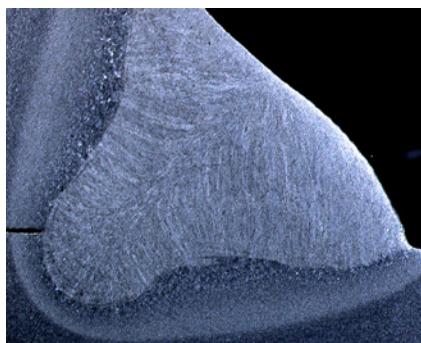
Flächenanteil eines Gefügebestandteils - Identifizierung einer einzelnen Phase und Bestimmung ihres Flächenanteils durch Punktzählung, z.B. Deltaferrit in austenitischen Stahlschweißungen.



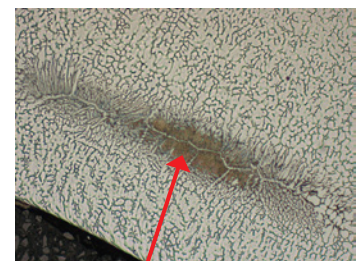
WIG Mikroimpulsschweißung einer Inconel 625 Legierung; mechanisch poliert und elektrolytisch geätzt mit 10%iger Oxalsäure, 10 Sek. mit 10 Volt. Hellfeld, 2.5x.



Gleiches Material: das Mikrogefüge der Schweißung besteht aus primären Mischkristallen und feinen, unauflösbaren Ausscheidungen einer zweiten Phase. Der Grundwerkstoff zeigt in dem Bereich der Aufschmelzung eine ausgeprägte Kornvergrößerung. Hellfeld, 10x.



Makroschliff einer tiefen Kehlschweißnaht aus Kohlenstoffstahl, geätzt mit 5% Nital. Hellfeld, 2.5x.

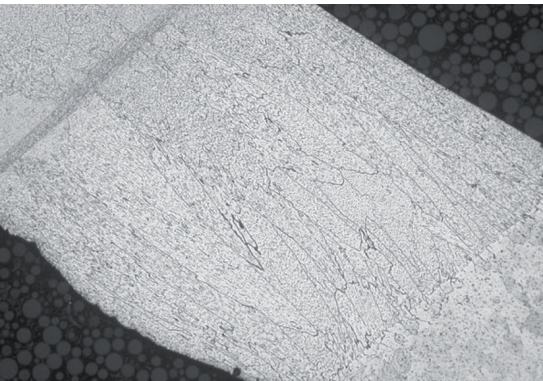


Hellfeld, 100x



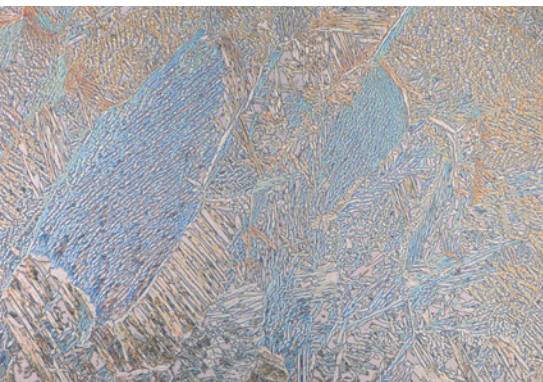
Hellfeld, 500x

Polierter und geätzter Schliff einer Schweißung aus austenitischem Stahl. Schweißzone zeigt Inseln aus Deltaferrit und einen kleinen Bereich Perlit.



Korngröße / Korngrößenmessung in den Bereichen mit Kornwachstum/ Kornverfeinerung in der Schweißzone und wärmebeeinflusster Zone.

Aluminiumschweißung mit verschiedenen Gefügen in der Schweißzone, Wärmeinflusszone und Grundwerkstoff. Geätzt in 100 ml destilliertem Wasser mit 2 ml Flusssäure. Hellfeld, 100x.



Art des Mikrogefüges / Morphologie / Identifizierung von Umwandlungsgefügen in der Schweißzone und wärmebeeinflussten Zone.

Wärmeinflusszone einer Schweißung aus rostfreiem Duplex-Stahl. Elektrolytisch geätzt mit 40% Natronlauge. Hellfeld, 200x.

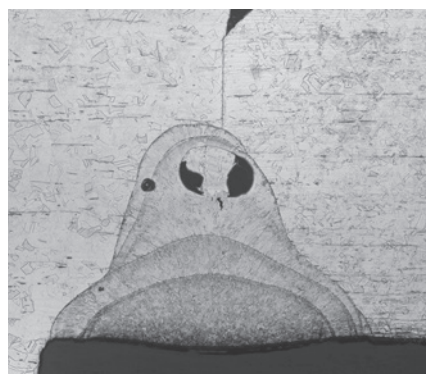


Fehleranalyse / Identifizierung und Charakterisierung von Schweißfehlern.

Unter der Oberfläche entstandene Gasporen in einer automatischen MAG (Metall-Aktivgas) Schweißung von Stahlteilen. Geschliffen und mit 10% Nital geätzt. Hellfeld, 2x.

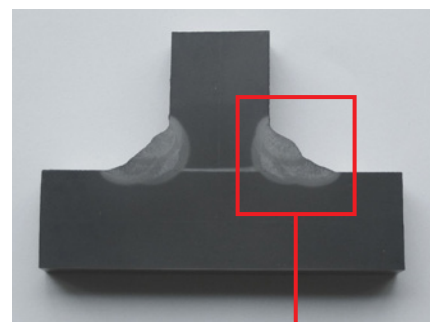


Riss in der wärmebeeinflussten Zone unterhalb einer Kehlnaht aus niedrig legiertem Kohlenstoffstahl. Hellfeld, 5x.

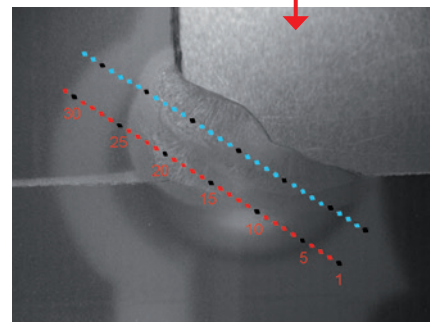


Poren in einer Schweißung aus austenitischem Stahl. Hellfeld, 100x.

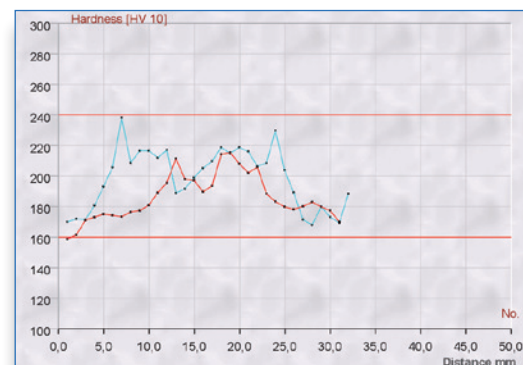
Härteprüfung - normalerweise wird eine Härteprüfung / Mikrohärteprüfung im Bereich des Grundwerkstoffs, der wärmebeeinflussten Zone und der Schweißzone vorgenommen um zu gewährleisten dass die Eigenschaften der Schweißzone und der wärmebeeinflussten Zone zufrieden stellend.



Stahlschweißungen



Schweißung mit Härteeindrücken (nach DIN EN 1043).



Kurve zeigt die Härteunterschiede gemessen mit dem Duramin-A300 Härteprüfgerät.

Die Anwendung guter metallografischer Vorgangsweisen in Bezug auf Schweißverbindungen wurde umrissen. Eine geeignete Präparationsmethode muss entsprechend den physikalischen Eigenschaften der Schweißwerkstoffe ausgewählt werden. Es ist wichtig bei allen Stufen der Präparation darauf zu achten Voraussetzungen dafür zu schaffen, dass eine richtige Analyse des Mikrogefüges und der Eigenschaften der Schweißung möglich ist.

Application Note

Metallography of Welds

Bill Taylor, Anne Guesnier, Struers A/S
 Kopenhagen, Dänemark

Danksagung

Wir bedanken uns bei Frau Erika Weck und Frau Elisabeth Leistner für die Erlaubnis zur Wiedergabe der Abbildung Nr. 4 auf der Titelseite: "Mehrlagige Edelstahlschweißung, farbgeätzt nach Lichtenberger und Bloech. Helffeld, 6.5x".

Wir danken Frau Brigitte Duclos, Struers S.A.S. für drei Gefügeaufnahmen auf Seite 7:

Aluminiumschweißung mit verschiedenen Gefügen in der Schweißzone, Wärmeeinflusszone und Grundwerkstoff.

Wärmeeinflusszone einer Schweißung aus rostfreiem Duplex-Stahl.

Poren in einer Schweißung aus austenitischem Stahl.

Bibliografie

Metallographische Anleitung zum Farbätzen nach dem Tauchverfahren, Teil II: Farbätzmittel nach Beraha und ihre Abwandlungen. Erika Weck und Elisabeth Leistner.

Process and Physical Metallurgy; J. E. Garside
 2nd Edition 1967.

Metallographic and Materialographic Specimen Preparation, K. Geels, ASTM, 2007.

Metallographic etching. 2nd Edition, G. Petzow, ASM, Metals Park Ohio, 1999.

AUSTRALIA & NEW ZEALAND

Struers Australia
 27 Mayneview Street
 Milton QLD 4064
 Australia
 Tel.: +61 7 3512 9600
 Fax: +61 7 3369 8200
 info.au@struers.dk

BELGIUM (Wallonie)
Struers S.A.S.
 370, rue du Marché Rollay
 F-94507 Champigny
 sur Marne Cedex
 Tel.: +33 1 5509 1430
 Fax: +33 1 5509 1449
 struers@struers.fr

BELGIUM (Flanders)
Struers GmbH Nederland
 Zomerdijk 34 A
 3143 CT Maassluis
 Tel.: +31 (10) 599 7209
 Fax: +31 (10) 599 7201
 netherlands@struers.de

CANADA
Struers Ltd.
 7275 West Credit Avenue
 Mississauga, Ontario L5N 5M9
 Tel.: +1 905-814-8855
 Fax: +1 905-814-1440
 info@struers.com

CHINA
Struers Ltd.
 No. 1696 Zhang Heng Road
 Zhang Jiang Hi-Tech Park
 Shanghai 201203, P.R. China
 Tel.: +86 (21) 6035 3900
 Fax: +86 (21) 6035 3999
 struers@struers.cn

CZECH REPUBLIC & SLOVAKIA
Struers GmbH Organizační složka
 vědeckotechnický park
 Přílepská 1920,
 CZ-252 63 Roztoky u Prahy
 Tel.: +420 233 312 625
 Fax: +420 233 312 640
 czechrepublic@struers.de
 slovakia@struers.de

GERMANY
Struers GmbH
 Carl-Friedrich-Benz-Straße 5
 D- 47877 Willich
 Tel.: +49 (0) 2154 486-0
 Fax: +49 (0) 2154 486-222
 infoservice@struers.de

FRANCE
Struers S.A.S.
 370, rue du Marché Rollay
 F-94507 Champigny
 sur Marne Cedex
 Tel.: +33 1 5509 1430
 Fax: +33 1 5509 1449
 struers@struers.fr

HUNGARY
Struers GmbH
 Magyarországi Fióktelep
 2040 Budaörs
 Szabadság utca 117
 Phone +36 (23) 80 60 90
 Fax +36 (23) 80 90 91
 hungary@struers.de

IRELAND
Struers Ltd.
 Unit 11 Evolution @ AMP
 Whittle Way, Catcliffe
 Rotherham S60 5BL
 Tel.: +44 0845 604 6664
 Fax: +44 0845 604 6651
 info@struers.co.uk

ITALY
Struers Italia
 Via Monte Grappa 80/4
 20020 Arese (MI)
 Tel.: +39-02/38236281
 Fax: +39-02/38236274
 struers.it@struers.it

JAPAN
Struers K.K.
 Takanawa Muse Bldg. 1F
 3-14-13 Higashi-Gotanda,
 Shinagawa
 Tokyo
 141-0022 Japan
 Tel.: +81 3 5488 6207
 Fax: +81 3 5488 6237
 struers@struers.co.jp

Struers ApS

Pederstrupvej 84
 DK-2750 Ballerup, Denmark
 Phone +45 44 600 800
 Fax +45 44 600 801
 struers@struers.dk
 www.struers.com

NETHERLANDS

Struers GmbH Nederland
 Zomerdijk 34 A
 3143 CT Maassluis
 Tel.: +31 (10) 599 7209
 Fax: +31 (10) 599 7201
 netherlands@struers.de

NORWAY

Struers ApS, Norge
 Sjøskogenveien 44C
 1407 Vinterbro
 Tel.: +47 970 94 285
 info@struers.no

AUSTRIA

Struers GmbH
 Zweigniederlassung Österreich
 Betriebsgebiet Puch Nord 7
 5412 Puch
 Tel.: +43 6245 70567
 austria@struers.de

POLAND

Struers Sp. z o.o.
 Oddział w Polsce
 ul. Jasnogórska 44
 31-358 Kraków
 Tel.: +48 12 661 20 60
 Fax: +48 12 626 01 46
 poland@struers.de

ROMANIA

Struers GmbH, Sucursala Bucuresti
 Str. Preciziei nr. 6R
 062203 sector 6, Bucuresti
 Tel.: +40 (31) 101 9548
 Fax: +40 (31) 101 9549
 romania@struers.de

SWITZERLAND

Struers GmbH
 Zweigniederlassung Schweiz
 Weissenbrunnstraße 41
 CH-8903 Birmensdorf
 Tel.: +41 44 777 63 07
 Fax: +41 44 777 63 09
 switzerland@struers.de

SINGAPORE

Struers Singapore
 627A Aljunied Road,
 #07-08 BizTech Centre
 Singapore 389842
 Tel.: +65 6299 2268
 Fax: +65 6299 2661
 struers.sg@struers.dk

SPAIN

Struers España
 Camino Cerro de los Gamos 1
 Building 1 - Pozuelo de Alarcón
 CP 28224 Madrid
 Tel.: +34 917 901 204
 Fax: +34 917 901 112
 struers.es@struers.es

FINLAND

Struers ApS Suomi
 Sahaaajankatu 20-22 A6
 00880 Helsinki
 Tel.: +358 (0) 207 919 430
 finland@struers.fi

SWEDEN

Struers Sverige
 Box 20038
 161 02 Bromma
 Tel.: +46 (0)8 447 53 90
 Fax: +46 (0)8 447 53 99
 info@struers.se

UNITED KINGDOM

Struers Ltd.
 Unit 11 Evolution @ AMP
 Whittle Way, Catcliffe
 Rotherham S60 5BL
 Tel.: +44 0845 604 6664
 Fax: +44 0845 604 6651
 info@struers.co.uk

USA

Struers Inc.
 24766 Detroit Road
 Westlake, OH 44145-1598
 Tel.: +1 440 871 0071
 Fax: +1 440 871 8188
 info@struers.com