

Schweißtechnische Verarbeitung der Gusseisenwerkstoffe

Gusseisenwerkstoffe gelten bis heute bei vielen Ingenieuren als nicht schweißgeeignet. Der Grund hierfür ist in der unzureichenden Ausbildung und Weiterbildung auf diesem Gebiet zu sehen. Dabei herrscht vor allem die Meinung vor, dass aufgrund des hohen C-Gehaltes der Werkstoff nicht beherrschbar ist und so Risse entstehen. Widerlegt wird diese Meinung durch vielfältige praktische Erfahrungen in den Gießereien und auch in Lohnschweißereien, die sich seit über 40 Jahren erfolgreich mit dem Schweißen von Gusseisenwerkstoffen beschäftigen. Diese praktischen Erfahrungen führten bereits in den sechziger Jahren des 20. Jhs. zur Herausgabe von ersten Regelwerken, die die Technologie des Gusseisenschweißens beschreiben (VDG-Merkblätter N 50, N 60, N 70). Diese Regelwerke wurden später in die DVS/VDG-Regelwerke 602 und 603 überführt und bildeten die Basis für das heutige Regelwerk (DIN EN und DIN EN ISO).

1 Schweißbarkeit von Gusseisenwerkstoffen

Die meisten Gusseisenwerkstoffe gelten heute als bedingt schweißgeeignet und lassen sich mit der entsprechenden Verfahrenstechnik gut beherrschen. Dies gilt sowohl für das Gusseisen mit Lamellengraphit (GJL) als auch für das Gusseisen mit Kugelgraphit (GJS) und für Tempergusswerkstoffe (GJMW, GJMB).

Die Haupteinflussgrößen auf die Schweißbarkeit sind

- der C-Gehalt in Form von Graphit und Fe_3C ,
- die Sprödigkeit und die geringe Bruchdehnung,
- die Gefahr der Rissbildung durch Eigenspannungen,
- der niedrige Schmelzpunkt,
- die dünnflüssige Schmelze,
- die Gehalte an P und S.

Bei der Entwicklung einer Schweißtechnologie gilt es, nun diesen Eigenschaften des Werkstoffes durch entsprechende Maßnahmen entgegenzuwirken.

Allgemein lässt sich hierzu sagen, dass Werkstoffe mit Kugelgraphit wegen der

Schweißingenieur G. F. Metting, Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt SLV Duisburg; www.slv-duisburg.de

größeren Zähigkeit leichter zu verarbeiten sind als Werkstoffe mit Lamellengraphit. Dabei spielt die Art und Größe der Graphitlamellen eine Rolle, aber vor allem die Art des Matrixgefüges. So lässt sich ein ferritischer Guss leichter beherrschen als ein perlitischer oder vergüteter Gusswerkstoff, weil er eine höhere Dehnungsreserve aufweist und die zwangsläufig entstehenden Eigenspannungen besser aufnehmen und abbauen kann.

Die niedrig schmelzenden und dünnflüssigen Gusswerkstoffe zeigen im Schweiß- und Erstarrungsverhalten im Vergleich zum Stahl ein deutlich unterschiedliches Schweißverhalten. Bei der Verwendung von artgleichen Schweißzusätzen ist so nur eine Schweißung in waagerechter Position (PA) möglich. Bei artfremdem Schweißzusatz wie zum Beispiel Ni- oder Ni-Fe-Legierungen entsteht eine spröde Ledeburitschicht im Übergang, die leicht zur Rissbildung führen kann. Die vergleichsweise hohen S- und P-Gehalte fördern die Heißriss- und Kaltrissbildung und sind grundsätzlich negativ zu bewerten.

Die genannten Einflussgrößen führten zur Entwicklung von Schweißtechnologien, die heute in der DIN EN 1011-8 „Schweißen – Empfehlungen zum Schweißen metallischer Werkstoffe, Teil 8: Schweißen von Gusseisen“ ausführlich beschrieben sind.

2 Verfahrensweise beim Schmelzschweißen von Gusseisenwerkstoffen

Beim Schweißen von Gussteilen unterscheidet man zunächst nach der Art und der Zielsetzung der Schweißung in Produktions- (Fertigungs- und Verbindungsschweißen), Konstruktionsschweißen und Reparaturschweißen (Bild 1). Bei den Verfahrenstechniken wird zudem zwischen der artgleichen und artfremden sowie der weniger verbreiteten artähnlichen Schweißung unterschieden (Tabelle 1).

Die artgleiche Schweißung erfolgt bei hohen Vorwärmtemperaturen von etwa 600 °C mit Schweißzusätzen, die ein artgleiches Schweißgut ergeben. Diese Schweißungen haben bei richtiger Ausführung ein grundwerkstoffähnliches Werkstoffverhalten. Die artfremde Schweißung erfolgt ohne Vorwärmung oder bei niedriger Vorwärmung üblicherweise mit Ni-Fe- oder Ni-Schweißzusätzen. Die Schweißungen weisen zum Grundwerkstoff hin

Tabelle 1: Arbeitstechniken zum Schweißen von Gusseisenwerkstoffen

Schweißtechniken für Gusseisen		
Artgleich	Artähnlich	Artfremd
Hohe Vorwärmung 550 – 700 °C Artgleicher Schweißzusatz FeC-1	Mittlere Vorwärmung 250 – 550 °C Stahlähnlicher Schweißzusatz St	Ohne oder mit niedriger Vorwärmung max. 300 °C Artfremder Schweißzusatz NiFe-1



Bild 1: Zielsetzung für eine Schweißung

Tabelle 2: Schweißen von Gussteilen aus Gusseisen mit artgleichen oder artähnlichen Schweißzusätzen (Auszug aus DIN EN 1011-8:2005-02)

Verfahren	Methode	Gusseisen mit Lamellengraphit (GJL)	Gusseisen mit Kugelgraphit (GJS)	Schwarzer Temperguss (GJMB)	Weißer Temperguss (GJMW)	Schweißgeeigneter Temperguss (EN-GJMW-360-12 EN-JM1020)
Nahtvorbereitung	Vorbereitung	Gusshaut von der Schweißfläche des Gussteils und dem angrenzenden Bereich entfernen und diese reinigen				
	- thermisch	Plasmaschmelzschnitten, Pulverbrennschnitten, (bedingt Lichtbogenschnitten, autogenes Brennschnitten nicht geeignet)			Alle Methoden	
	- mechanisch	Mechanisches Bearbeiten, Schleifen, Ausmeißeln				
Verwendung von Schweißunterlagen		Graphithaltiger Werkstoff, Lehm, Keramik, Gusseisen mit Kugelgraphit, unlegierter Stahl				
Empfehlung für die thermische Behandlung (Schweißen örtlicher Bereiche oder des gesamten Gussteils)	1) Vorwärmen	Schweißen mit artfremden Schweißzusätzen; $T_p = 550$ bis 700 °C (je nach Material und/oder Verfahren) Schweißen mit artähnlichen Schweißzusätzen: $T_p = 250$ bis 550 °C Maximale Erwärmungsgeschwindigkeit (je nach Guss- oder Bauteil)				nicht erforderlich bei Wanddicken ≥ 8 mm, > 8 mm (siehe links)
	2) Gussteiltemperatur beim Schweißen	Schweißen mit artgleichen Schweißzusätzen: außerhalb der Schweißfläche ≥ 450 °C Schweißen mit artähnlichen Schweißzusätzen: außerhalb der Schweißfläche ≥ 250 °C (Schweißen mit artähnlichen Schweißzusätzen: nicht empfohlen für Gusseisen mit Lamellengraphit (GJL))				
	3) Abkühlgeschwindigkeit	Je nach Komplexität des Guss- oder Bauteils Von 450 bis 150 °C ≤ 50 K/h bei spannungsempfindlichen Gussteilen				
Wärmebehandlung	Separate Wärmebehandlung oder Nutzung der Restwärme beim Schweißen	Je nach Grundwerkstoff, Größe und Form des Gussteils und anderen Anforderungen kann jedes Wärmebehandlungsverfahren angewendet werden.				
Verwendung von Zusatzstoffen	Gasschweißen mit Sauerstoff-Acetylen-Flamme (311)	GJL-Stab GJS-Stab	GJS-Stab		Schweißstäbe GII EN 12536	
	Lichtbogenhandschweißen (111)	GJL- oder GJS-Stabelektrode, umhüllt oder nicht umhüllt	GJS-Stabelektrode, umhüllt oder nicht umhüllt		Umhüllte Schweißelektrode, z. B. Umhüllungstyp B EN 499	
		Legierungsumhüllte Stabelektrode aus Stahl	Umhüllung mit oder ohne Legierung Umhüllte Stabelektrode aus Stahl			
		Umhüllter Schweißstab				
Verwendung von Flussmitteln	Metall-Schutzgas-Schweißen (13)	Drahtelektroden, unlegiert oder legiert, nur für Zwischentemperatur ≤ 300 °C (um die Schutzgaswirkung aufrechtzuerhalten)				Drahtelektrode, unlegiert EN 440
	WIG-Schweißen (141)	Schweißstäbe, Fülldrähte nur für Zwischenlagentemperaturen \leq (um die Schutzwirkung aufrechtzuerhalten)				Schweißstäbe, unlegiert EN 1668
	Metall-Lichtbogenschweißen mit Fülldrahtelektrode ohne Schutzgas (114)	Fülldraht, Schweißgut (GJS)				Drahtelektrode, unlegiert DIN 758
	Gießschweißen	Schmelzgut GJL oder GJS	Schmelzgut GJS	Üblicherweise nicht verwendet		
	Gießschmelzschiweißen	Wie Gießschweißen, jedoch mit zusätzlicher Verwendung von Elektroden				
Plasmaschweißen (15)	Mit wenig oder ohne Zusatzwerkstoff					
Verwendung von Flussmitteln		Legiert oder unlegiert, kann zur Verbesserung der Schweißbedingungen verwendet werden.				

Anmerkungen: Die Zahlen in Klammern geben die Bezugsnummer für den Schmelzschiweißprozess an (siehe Abschnitt 7)
 T_p = Vorwärmtemperatur

andere Eigenschaften auf. Während die artgleiche Schweißung hauptsächlich für größere Schweißungen im Bereich der Produktion und Reparatur eingesetzt wird, wird die artfremde Schweißung für kleine Schweißungen und Konstruktions-schweißungen eingesetzt (Tabellen 2 und 3).

Die Bilder 2 und 3 enthalten Beispiele für erfolgreiche Schweißungen mit arteigenem Zusatzwerkstoff. Im Bild 2 ist das Reparaturschweißen eines Motorblockes aus EN-GJS-500-7 zu sehen. Die Stelle,

an der der Guss fehlerhaft ist (a), wird im Wärmebehandlungs-ofen eingeformt und das gesamte Gussteil auf etwa 300 °C und der Schweißbereich auf 600 bis 650 °C aufgewärmt (b). Dann erfolgt das Schweißen des Motorblocks mit artgleichem Zusatzwerkstoff (Gussstab 16 mm) bei etwa 600 °C Vorwärmung im Lichtbogenhandschweißen (c). Der Prozess einer kompletten Reparaturschweißung wird auf den Seiten bis XX in diesem Heft ausführlich dargestellt. An dem im Bild 3 gezeigten Großgussteil eines 9-Zylinderkurbelgehäuses aus EN-

Tabelle 3: Schweißzusätze mit artgleichem Schweißgut (Auszug aus EN ISO 1071)

Kurzzeichen EN ISO 1071	Legierungstyp	Schweißprozess ¹⁾
FeC-1 ²⁾	GJL	O, E
FeC-2 ³⁾	GJL	E, T
FeC-GF	GJS, ferritisch	E, T
FeC-GP	GJS, perlitisch	E, T

¹⁾ Lichtbogenhandschweißen, T – Fülldrahtelektrode, O – Gasschweißen

²⁾ bei Stabelektrode Kernstab aus Gusseisen

³⁾ bei Stabelektrode Kernstab aus Stahl

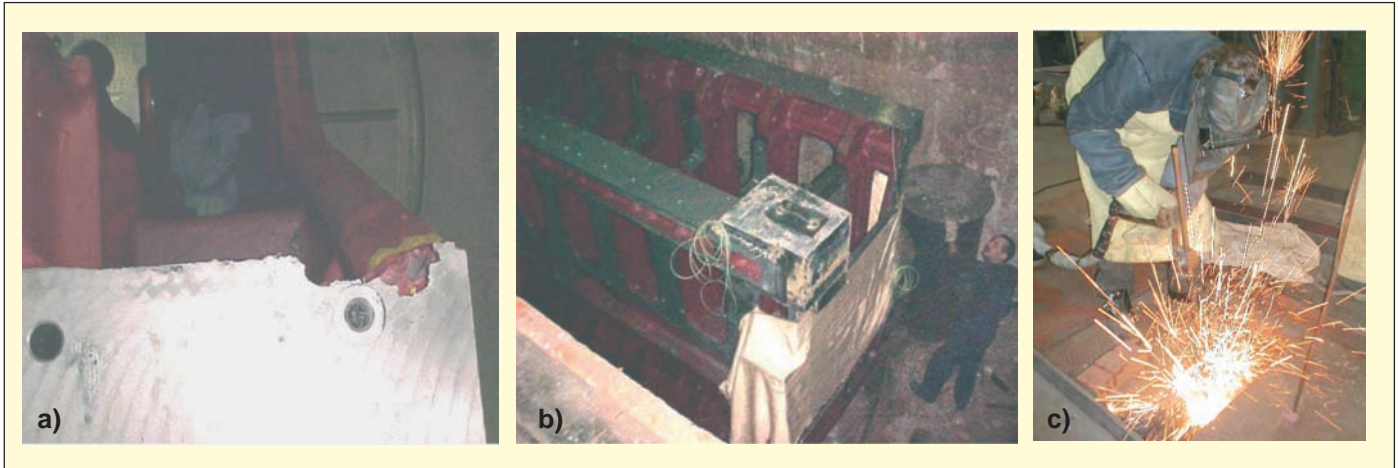


Bild 2: Reparaturschweißen einer fehlerhaften Stelle an einem Motorblock aus EN-GJS 500-7 (Bilder: Caspar Hahn, Remscheid)

- a) fehlerhafte Stelle am Gusskörper
- b) eingeformte Schweißstelle zum Vorwärmen im Ofen
- c) Lichtbogenhandschweißen mit artgleichem Zusatzwerkstoff



Bild 3: Gusseisenschweißung an einem 53-t-9-Zylinderkurbelgehäuse aus EN-GJS-450-10U in 10 m Höhe (a) mit artgleichem Schweißzusatz als MAG-Fülldrahtschweißung (b) (Bilder: Siempelkamp Gießerei, Krefeld) (oben)

Bild 4: Vorbereitung eines Motorblockes aus EN-GJS 400-15 zum artgleichen Schweißen (Bilder: Caspar Hahn, Remscheid) (Bild rechts)

- a) Einformen der Schweißstelle
- b) Schnitt durch den Einformungsbereich

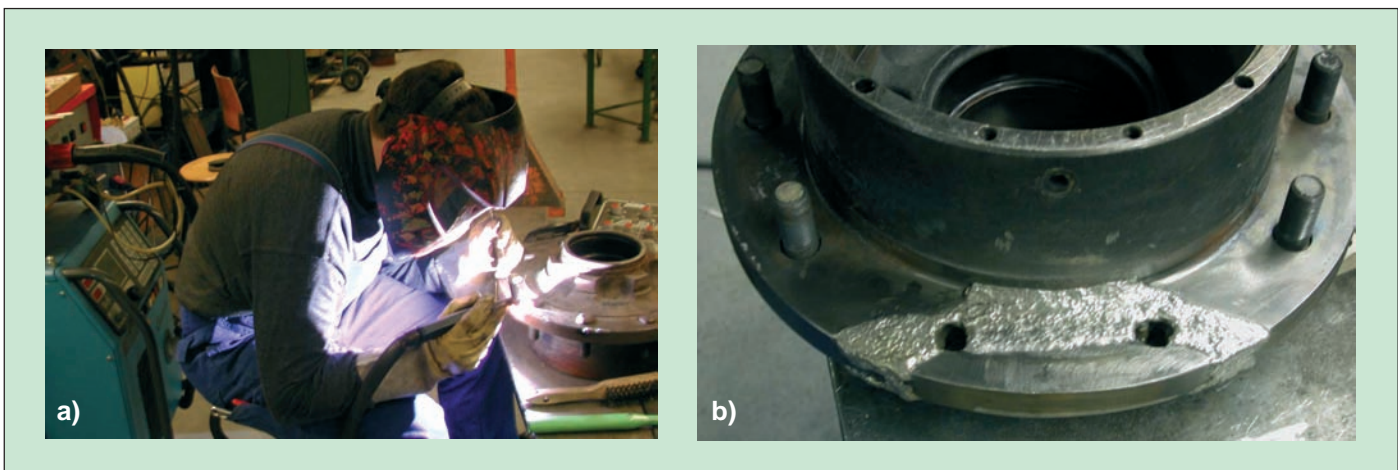
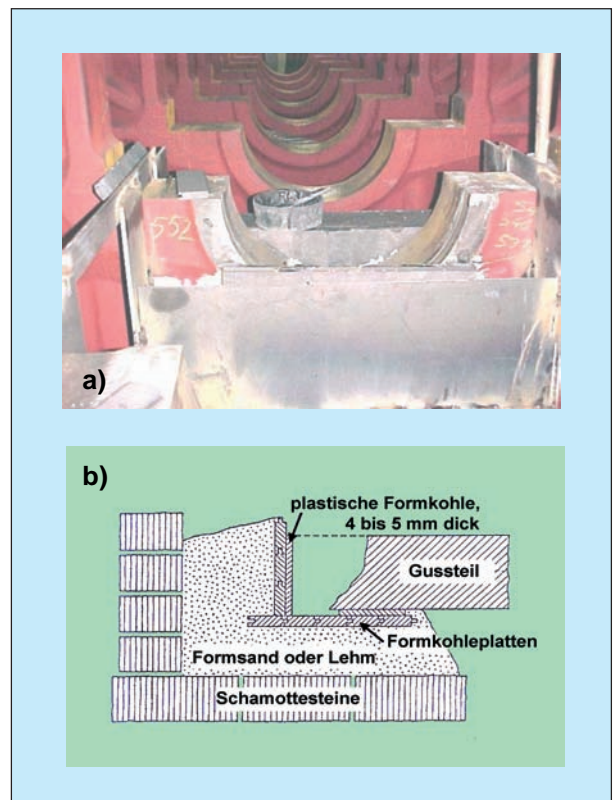


Bild 5: WIG-Schweißen mit Ni-Schweißzusatz bei 100 °C Vorwärmung an einem Kupplungsstück aus EN-GJL 250

- a) Der Prozess des Handschweißens
- b) Das geschweißte Gussteil

Tabelle 4: Schweißen von Gussteilen aus Gusseisen mit artfremdem Schweißzusatz (Auszug aus DIN EN 1011-8:2005-02)

Verfahren	Methode	Gusseisen mit Lamellengraphit (GJL)	Gusseisen mit Kugelgraphit (GJS)	Nicht entkohlend geglähter Temperguss (GJMB)	Entkohlend geglähter Temperguss (GJMW ¹)
Nahtvorbereitung	Vorbereitung	Gusschuttschicht von der Schweißfläche des Gussteils und dem angrenzenden Bereich entfernen und diese reinigen			
	- thermisch	Plasmaschmelzschneiden, Pulverbrennschneiden (bedingt Lichtbogenschneiden, autogenes Brennschneiden nicht geeignet)			Alle Methoden
	- mechanisch	Mechanisches Bearbeiten, Schleifen, Ausmeißeln			
Empfehlungen für die Wärmebehandlung (Schweißen örtlicher Bereiche oder des gesamten Gussteils)	1) Vorwärmen	T_p max. 300 °C			In Abhängigkeit von Der Entkohlung, nicht erforderlich bei Wanddicken bis 4 mm
	2) Zwischentemperatur T_i	Zwischenlagentemperatur $T_i = T_p + 50$ K			
	3) Abkühlen	In ruhender Luft			
Wärmenachbehandlung	Separate Wärmebehandlung oder Nutzung der Restwärme beim Schweißen	Je nach Grundwerkstoff, Komplexität des Gussteils und anderen Anforderungen kann jedes Wärmebehandlungsverfahren angewendet werden.			
Zusatzwerkstoffe und Pulver	Lichtbogenhandschweißen (111)	Umhüllter Schweißstab, nach EN ISO 1071			
	Metall-Schutzgasschweißen (13)	Massivdrahtelektroden, umhüllte Drahtelektroden, nach EN ISO 1071			
	WIG-Schweißen (141)	Massivstäbe, Schweißstäbe, Massivdraht, Fülldraht, nach EN ISO 1071			
	Metall-Lichtbogenschweißen mit Fülldraht-Elektrode ohne Schutzgas (114)	Umhüllte Drahtelektrode, nach EN ISO 1071			

Anmerkung: Die Zahlen in Klammern geben die Bezugsnummer für den Schmelzschweißprozess an (siehe Abschnitt 7)

¹ Schweißgeeigneter Temperguss EN-GJWM-360-12 (EN-JM1020) (Wanddicke ≤ 8 mm) kann mit handelsüblichen unlegierten Zusatzwerkstoffen geschweißt werden

GJS-450-10U wurde mit artgleichem Zusatzwerkstoff eine MAG-Fülldrahtschweißung in 10 m Höhe vorgenommen.

Wegen des geringen Erstarrungsintervalls und der hohen Vorwärmtemperatur ist bei Gusseisen eine Überwachung der Arbeitstemperatur erforderlich, die nur in einem kleinen Bereich schwanken darf. Das erfordert eine entsprechende Schweißbadsicherung. Im **Bild 4** ist die sorgfältige Vorbereitung und Sicherung der Schweißstelle dargestellt.

Artfremde Schweißungen werden entsprechend **Tabelle 4** durchgeführt. Als Beispiel ist im **Bild 5** die Reparaturschweißung eines Kupplungsstückes aus EN-GJL-250 zu sehen. Das abgebrochene Teil wurde im WIG-Handschiessen mit Ni-Zusatzwerkstoff bei 100 °C Vorwärmung erfolgreich wieder mit dem Grundkörper verbunden.

Besonders für Konstruktionsschweißungen im Automotivebereich werden auch andere als die bisher gezeigten klassischen Schmelzschweißprozesse eingesetzt. Hier ist das Buckelschweißen, das Abrennstumpfschweißen, das Reibschweißen, das Magnetarc-Schweißen mit bewegten Lichtbogen sowie das Laserschweißen zu nennen. Überwiegend wird hier der Werkstoff EN-GJS-400-15 eingesetzt. Diese Verfahren sind in „konstruieren + giessen“ H. 3, 2007, Seite 44 bis 47 beschrieben.

3 Eigenschaften und Gefüge von Guss-schweißungen

In der **Tabelle 5** sind die Eigenschaften einer artgleichen Schweißverbindung an einem Gussteil aus EN-GJS-400-18-RT zusammengestellt, die zeigen, dass die Schweißverbindung an die Eigenschaften des Grundwerkstoffs angenäherte Werte aufweist, die für den Werkstoff in vielen Fällen zulässig sind. Folgende Schweißbedingungen kamen zur Anwendung:

- Schweißtemperatur T_p : 600 - 670 °C,
- Wärmenachbehandlung: aus der Schweißwärme 750 °C 8 h / 7,5 K / h,
- Schweißzusatzwerkstoff: Artgleicher Gussstab FeC-GF, 18 mm nach **DIN EN ISO 1071**
- Schweißparameter: ~ 1000 A, ~ 40 V, 40 l Argon/min.

Die Gefügeausbildung geht aus **Bild 6** hervor. Härteverlauf und Gefügeausbildung in der Wärmeeinflusszone einer artgleichen Schweißung an dem Werkstoff EN-GJL-250 enthält **Bild 7**.

Welche Schweißzusatzwerkstoffe beim artfremden Schweißen von Gusseisen zur Anwendung kommen, geht aus **Tabelle 6** hervor. Im **Bild 8** sind das Makrogefüge, das Mikrogefüge des Zusatzwerkstoffes (im Beispiel NiFe 1) und das Mikrogefüge der Wärmeeinflusszone für ein Gussteil aus EN-GJL-250 abgebildet. Des

Weiteren sind im **Bild 9** das Mikrogefüge in der Wärmeeinflusszone und der Härteverlauf bei artfremder Schweißung für den Grundwerkstoff EN-GJS-400-15 aufgezeigt. Die artfremde Schweißung führt erwartungsgemäß zu deutlich unterschiedlicheren Eigenschaften und Gefügeausbildungen als die arteigene Schweißung, erreicht aber für viele Anwendungsfälle ausreichende Werte.

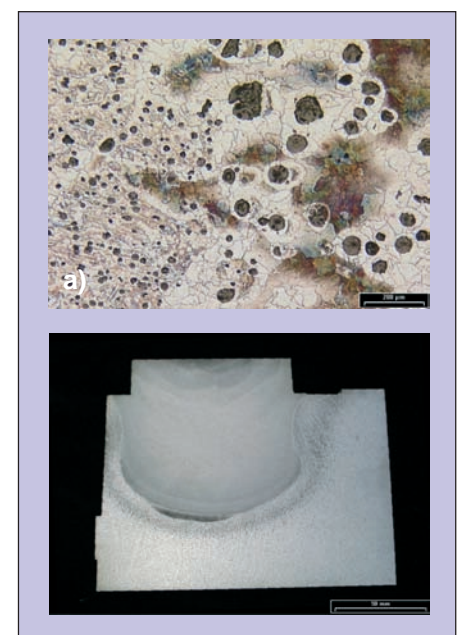


Bild 6: Makroschliff (a) und Mikroschliff der Wärmeeinflusszone (WEZ) (b) einer artgleichen Schweißung am Werkstoff EN-GJS-400-15

Tabelle 5: Eigenschaften einer artgleichen Gusseisenschweißung an EN-GJS-400-18-RT (Prüfergebnisse)

Parameter	Schweißgut	Übergang	Grundwerkstoff
Zugfestigkeit [N/mm ²]	475	424	413
0,2-Dehngrenze [N/mm ²]	336	286	271
Dehnung [%]	16	18	26
Kerbschlagarbeit [J]	13, 15, 15	13, 15, 14	18, 15, 17

Tabelle 6: Gebräuchliche Schweißzusätze zum artfremden Schweißen

Kurzzeichen nach EN ISO 1071	Legierungstyp	Schweißprozess ¹⁾
Ni	Reinnickel	E, S
NiFe-1	Nickel-Eisen	E, S, T
NiFe-2	Nickel-Eisen	E, S, T
NiCu	Nickel-Kupfer	E, S

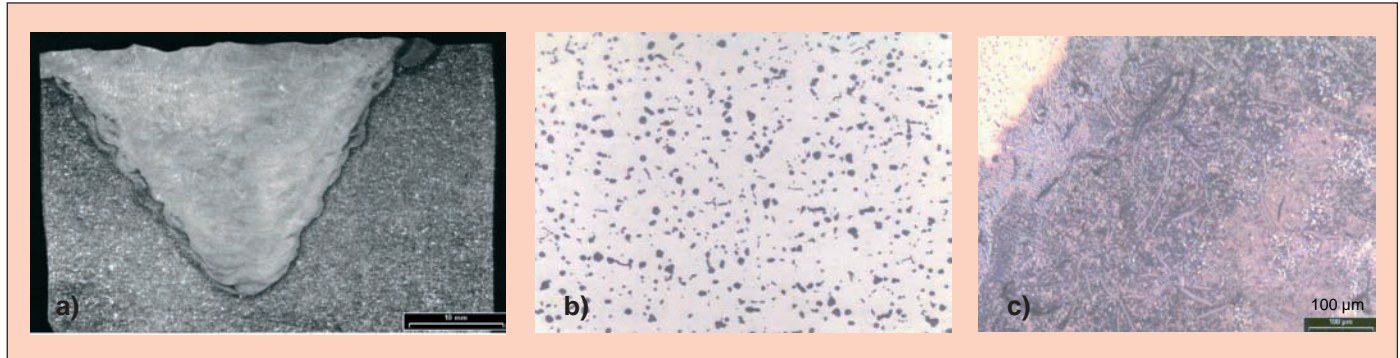


Bild 8: Makroschliff einer artfremden Schweißung am Grundwerkstoff EN-GJL-250 mit NiFe1-Zusatzwerkstoff (a), Gefüge des artfremden Schweißgutes NiFe1 (b) und Mikroschliff der Wärmeinflusszone dieser artfremden Schweißung an EN-GJL-250

4 Gusseisenschweißen in der Normung

Das Schweißen von Gusseisen ist in folgenden Normen erfasst:

- **DIN EN ISO 1071:** Schweißzusätze - Umhüllte Stabelektroden, Drähten, Stäbe und Fülldrahtelektroden zum Schmelzschweißen von Gusseisen - Einteilung,
- **DIN EN 1011-8:** Schweißen - Empfehlungen zum Schweißen metallischer Werkstoffe - Teil 8: Schweißen von Gusseisen,

- **DIN EN ISO 15614-3:** Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe - Schweißverfahrensprüfung - Teil 3: Schmelzschweißen und Pressschweißen von unlegierten und niedrig legierten Gusseisen.

Eine weitere Norm zur Qualifizierung der Schweißer ist zurzeit in Arbeit.

5 Zusammenfassung

Das Schweißen von Gusseisenwerkstoffen ist heute in allen Bereichen der Technik als Fertigungs- und Produktionsprozess eingeführt. Dabei wird bevorzugt das ferritische Gusseisen mit Kugelgraphit geschweißt. Dieses Eisen ist auch bei großen Wanddicken und Schweißstellen gut beherrschbar. Zum Einstellen der Eigenschaften ist hier eventuell eine besondere Wärmeführung beziehungsweise Wärmenachbehandlung bei großen Querschnitten erforderlich.

Bei kleinen Schweißstellen hat sich das Schweißen mit Ni-Fe-Elektroden bewährt. Auch Schweißprozesse wie das Magnetarc-Schweißen oder Reibschweißen werden in der Serienproduktion eingesetzt.

Das Schweißen von Gusseisen mit Lamellengraphit wird ebenfalls bei großen Einzelteilen in Produktion und Reparatur mit großem Erfolg eingesetzt. Während hier Produktionsschweißungen sowohl als artgleiche wie auch als artfremde Schweißungen in der Regel problemlos sind, kann es bei Reparaturschweißungen an alten Bauteilen zu Problemen kommen, die in der Zusammensetzung des Eisens beziehungsweise der Schweißzu-

sätze oder auch in der Benetzbarkeit des Gusseisens liegen. Häufig führen hier zudem mit Schmierstoffen vollgesogene Bauteile oder eine innere Oxidation des Gussteils zu Schweißproblemen.

In Summe ist jedoch festzustellen, dass Gusseisenwerkstoffe im Allgemeinen heute schweißtechnisch verarbeitbar sind.

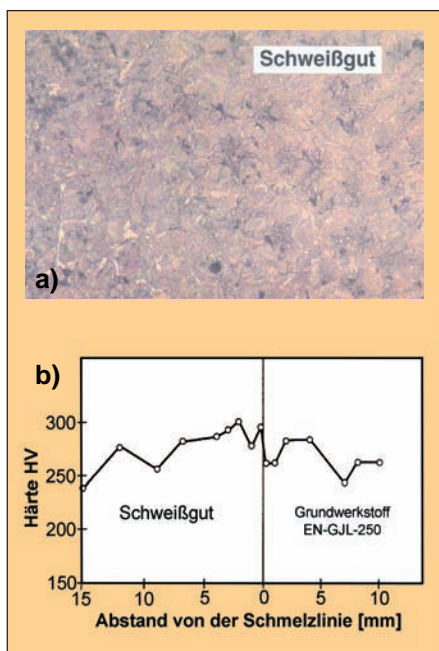


Bild 7: Gefüge in der Wärmeinflusszone (a) und Härteverlauf (b) in einer artgleichen Schweißung eines EN-GJL-250

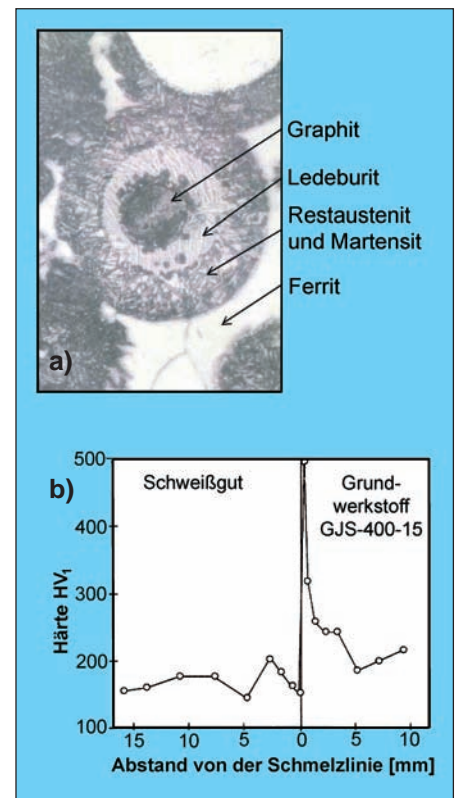


Bild 9: Gefüge in der Wärmeinflusszone (a) und Härteverlauf (b) in einer artfremden Schweißung am Grundwerkstoff EN-GJS-400-15