

Reparaturschweißen von Gussteilen

Unerwartete Bauteilausfälle als Folge von Brüchen an beispielsweise Motorenblöcken, Zylindergehäusen, Maschinen- oder Presseständern können in der laufenden Fertigung erhebliche Produktions- und Einnahmeausfälle sowie Vertragsverletzungen durch Nichteinhaltung von Lieferverpflichtungen verursachen oder sogar zu Auftragsverlusten führen. Da vor allem große Bauteile in der Regel nicht von heute auf morgen wiederbeschafft werden können, ist Reparaturschweißen von gebrochenen Gussteilhälften und abgebrochenen Bauteilsegmenten sowie das Beseitigen unzulässigen Verschleißes oder inakzeptabler Fehlstellen am Gussteil häufig die einzige terminlich vertretbare und/oder wirtschaftliche Lösung dieser Problematik.

1 Einleitung

Selbstverständlich wird bei einer derartigen Reparatur vom Auftraggeber vorausgesetzt, dass die Gusskonstruktion nach der Schweißung wieder die gleichen Eigenschaften aufweist wie vor der Schweißung. Das bedingt eine Spezialisierung der ausführenden Firmen hinsichtlich der maschinellen, wärme- und schweißtechnischen Einrichtungen, der Ausbildung und Überwachung des Personals und nicht zuletzt des Qualitätsmanagementsystems. Seit 100 Jahren hat sich die Fa. Caspar Hahn in Remscheid bereits diesem anspruchsvollen Metier mit Erfolg verschrieben. Sie genießt in Insiderkreisen einen ausgezeichneten Ruf und hat sich über die Jahre ein profundes Wissen und einen enormen Erfahrungsschatz erarbeitet. Das nachfolgende Beispiel stellt hieraus ein anschauliches Beispiel dar, an dem gezeigt werden soll, wie Reparaturschweißen von echten Profis bewältigt wird.

Dipl.-Ing. Reiner Gerhards, Fa. Caspar Hahn, Remscheid (alle Bilder: C. Hahn, Remscheid)

2 Reparatur eines Schiffdiesel-Zylinderblocks

Das typische Vorgehen bei einer Reparaturschweißung soll hier an einem Schiffsdiesel-Zylinderblock (**Bild 1**) gezeigt werden. Die technischen Daten dieses Zylinderblocks sind:

- Zylinderzahl 18,
- Gewicht etwa 120 t,
- Abmessungen (L x B x H) etwa 12 000 x 2 800 x 3 000 mm,
- Werkstoff EN-GJS-400-18.

Reparaturschweißungen werden an allen unlegierten und legierten Sorten der gesamten Gusseisenpalette (Lamellen-, Vermicular- und Kugelgraphit) durchgeführt.

Im **Bild 2** ist die durch Ultraschallprüfung detektierte Fehlstelle, nach dem Reinigungsstrahlen sichtbar geworden, zu sehen. Die technologischen Anforderungen an die Schweißstelle lauten:

- Gleiche statische und dynamische Werkstoffeigenschaften,

- Farb- und Korrosionsgleichheit zwischen Grund- und Schweißzusatzwerkstoff.

Auf Grund dieser hohen Anforderungen wurde bei der Schweißplanung festgelegt, dass die Schweißung mit artgleichem Zusatzwerkstoff ausgeführt werden muss. Nach dem Ausarbeiten der Fehlstelle, das heißt nach dem Vorbereiten der Schweißstelle, wird die Fehlerfreiheit durch Oberflächenrissprüfung abgesichert. Da artgleicher Zusatzwerkstoff wegen der bekannten metallurgischen Gründe vorzugsweise nur bei vorgewärmtem Grundwerkstoff verschweißt werden kann, wurde ein artgleiches Schweißen, früher als „Warmschweißen“ bezeichnet, vorgesehen.

Für das sichere Durchführen einer solchen Reparaturschweißung sind einige Voraussetzungen erforderlich. Die Planung und Durchführung der Schweißung(en) sowie die Auswahl des geeigneten Schweißzusatzwerkstoffes für den betreffenden Anwendungsfall erfordern ein großes Erfahrungspotential. Es muss bei Bedarf der Schweißzusatzwerkstoff aus den Normzusatzwerkstoffen ausgewählt oder in Eigenregie hergestellt und/oder



Bild 1: Der zu schweißende Schiffsdiesel-Motorblock aus EN-GJS-400-18, Gewicht etwa 120 t

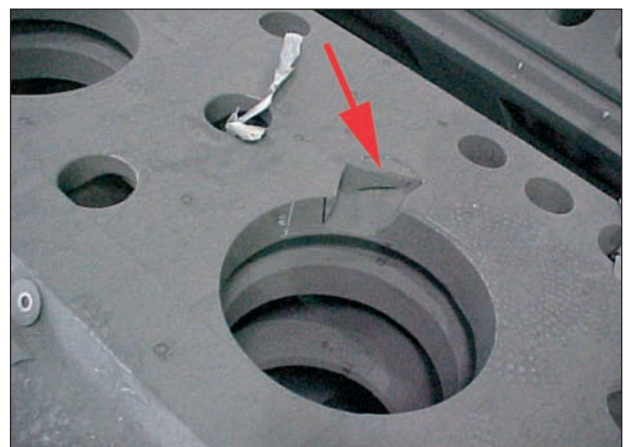


Bild 2: Die mit Ultraschallprüfung ermittelte Fehlstelle am gereinigten Gussteil

durch Zulegieren von Begleit- und/oder Legierungselementen auf die Zusammensetzung des Grundwerkstoffes angepasst werden. Zudem sollte für die Schweißung ausreichendes Personal- und Ersatzpersonal mit entsprechender Qualifikation vorhanden sein.

Die Bauteile müssen vor der Schweißung vollständig demontiert und als Einheit in dem zur Verfügung stehenden Glühofen positioniert werden. Für den Schweißvorgang muss die zu verschweißende Stelle dabei in Wannelage gebracht werden. Senkrecht und Überkopfschweißen ist bei artgleichem Schweißen von Gusseisenwerkstoffen nicht möglich.

2.1 Prozessablauf

Im **Bild 3** und dem nachfolgenden Text wird der Ablauf der Reparaturschweißung des Schiffsdiesel-Zylinderblocks anschaulich dargestellt.

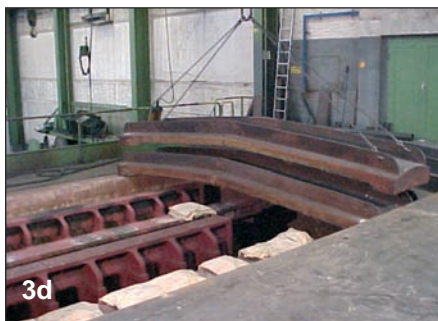
Eine Badsicherung aus Formkohle (Nut und Feder ineinandergreifend) wird um die ausgearbeitete Fehlstelle gebaut (**Bild 3a**). Die Formkohle kommt beim Schweißprozess unmittelbar mit dem flüssigen Schweißgut in Berührung. Um die Formkohle während des Schweißprozesses in der vorgegebenen Position zu fixieren, wird sie mit Schamotte und einem Blechmantel gestützt (**Bild 3b**). Das Schweißvolumen wird zur Bestimmung der Zugießmaterialsmenge berechnet.

Zum Vorwärmen wird das Bauteil in einen Glühofen eingesetzt (**Bild 3c**). Das Bauteil muss dabei so positioniert werden, dass der Schweißbereich nach dem Öffnen eines Segmentdeckels frei zugänglich ist (**Bild 3d**). Der Glühofen wird mit 30 K/h auf die Vorwärmtemperatur von 550 bis 650 °C gefahren. Die Ofenregelung läuft über Stückmessung, damit die Vorwärmtemperatur in der Umgebung des Schweißbereiches konstant gehalten werden kann.

Nach dem Erreichen der vorgeschriebenen Vorwärmtemperatur in der Schweißstelle wird der Glühofen nur im Bereich des Schweißbades geöffnet, um die Wärmeabstrahlung und damit die Wärmestreunungen an der Schweißstelle so gering wie möglich zu halten und um gleichzeitig die Schweißer vor unnötiger Wärmebelastung zu schützen (**Bild 3e**).

Die Schweißmannschaft steht bei einer Bauteiltemperatur von 550 °C auf oder direkt neben dem Glühofen (**Bild 3f**). Sie ist dafür mit entsprechender hitzeabweisender Kleidung gegen die Wärmestrahlung geschützt. Zu einer Schweißung werden folgende Mitarbeiter benötigt:

- 2 Schweißer, die sich etwa alle 10 Minuten abwechseln,
- 2 Mitarbeiter am Schmelzofen zum Vorbereiten und Vergießen des schmelzflüssigen Zugießmaterials,



- 1 Mitarbeiter, der eine Schutzgasglocke über der Schweißung positioniert, womit entstehende Gase und Dämpfe abgesaugt werden können,
- 1 Mitarbeiter, der das schwere Schweißkabel der Schweißstromquelle (etwa 1 700 A) trägt,
- 1 Mitarbeiter, der die Elektroden im Halter wechselt.

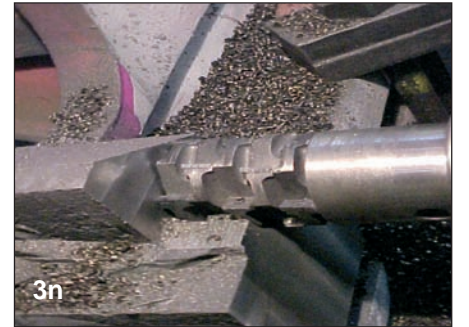
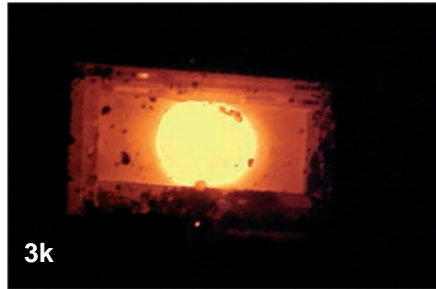
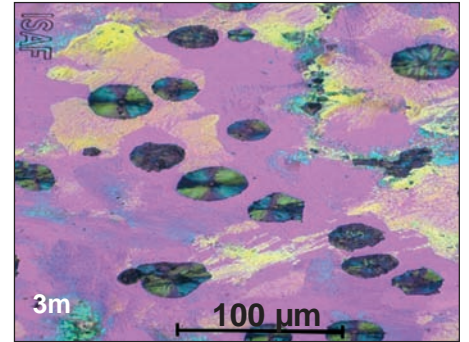
Mit einer Gusselektrode wird zuerst der Randzonenbereich des Grundwerkstoffes angeschmolzen und verflüssigt (**Bild 3g**). Die dafür verwendeten Elektroden haben abhängig vom Schweißvolumen einen Durchmesser zwischen 8 und 25 mm. Sie benötigen Stromstärken bis zu 1 700 A für diesen Schweißvorgang.

Als Zugießmaterial kommt Strangguss oder anderes bereitgestelltes Gussmaterial mit auf das Bauteil angepasster chemischer Zusammensetzung zur Anwendung. Das flüssige Gusseisen wird in eine Gießpfanne gegossen und dort mit Zusätzen geimpft oder behandelt (zum Beispiel mit FeSi und/oder Mg), bis die Zusammensetzung der Schweißteillegierung eingestellt ist (**Bild 3h**). Gleichzeitig zum Schweißprozess wird dann die artgleiche Gusseisenschmelze dem Schweißbad fein dosiert zugegossen (**Bild 3i**). Der Schweißer bestimmt dabei den Zeitpunkt und die Menge.

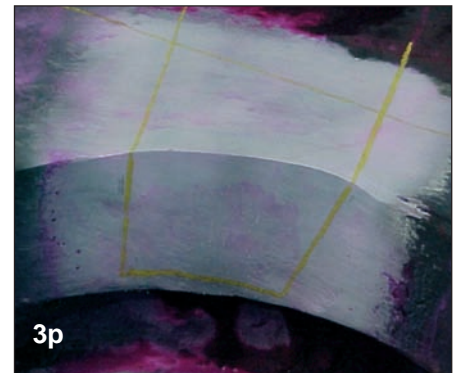
Während der gesamten Dauer des Schweißprozesses müssen immer wieder die Randzonen mit dem Lichtbogen der Elektrode verflüssigt werden (**Bild 3j**), um eine gesicherte Verbindung zwischen Zugießmaterial und Grundwerkstoff zu gewährleisten. Dieser Arbeitsschritt muss solange fortgeführt werden, bis die Form komplett gefüllt ist.

Deutlich ist im **Bild 3k** zu sehen, wie das Schweißbad von außen nach innen abkühlt. Auf der Oberfläche des Schweißbades schwimmt dunklere und kältere Schlacke, die an die Badoberfläche gespült wird und sich am Rand im Erstarrungsbereich der Schmelze anlagert. Das flüssige Schweißbad muss deshalb häufig von dieser aufschwimmenden Schlacke gereinigt werden (**Bild 3l**). Wenn sich das Schweißbad beruhigt hat, wird der Glühofen geschlossen und das Bauteil komplett bei etwa 550 °C spannungsarm gegläht. Nach einer dem Bauteil entsprechenden Haltezeit wird mit 30 K/h bis auf 200 °C abgekühlt, danach bei ruhender Luft auf Raumtemperatur abgekühlt.

Die Gefügeausbildung der Schweißung weist in der Regel eine wesentlich feinere und gleichmäßigere Struktur auf als der Grundwerkstoff. Dies wird im Schlibbild durch kleinere aber zahlreichere Graphitausscheidungen sichtbar. Im **Bild 3m** ist ein solches Gefüge mit einwandfrei ausgebildeten Sphärolithen (= Graphitkügelchen) zu sehen.



Als Vorbereitung zur Prüfung der Schweißung auf Risse und Poren wird der Bereich konturgerecht, meist auf einem Bohrwerk, beigearbeitet (Bild 3n). Um Kerben von der Oberfläche der Schweißstelle weitgehend zu entfernen, muss diese anschließend noch geschliffen und poliert werden (Bild 3o).



Die beigearbeitete Schweißstelle wird anschließend einer Oberflächenriss- und Porositätsprüfung nach dem Farbeindringprüfverfahren „ROT/WEISS“ unterzogen (Bild 3p). Um auch unter der Oberfläche oder in der Verbindungszone zwischen Grundwerkstoff und Schweißse die Fehlerfreiheit von Schweißsporen, Gasanschlüssen und/oder Unternahrissen zu gewährleisten, erfolgt, soweit es die Bauteilgeometrie zulässt, vor der endgültigen Abnahme durch den Kunden dann noch eine dokumentierte Ultraschallprüfung mit Winkelbeziehungsweise Senkrechtpfprüfköpfen (Bild 3q).



Bild 3: Arbeitsschritte beim Reparaturschweißen am Beispiel eines Schiffdiesel-Zylinderblockes bei der Firma Casper Hahn in Remscheid (Teilbilder 3a bis 3q, Seite 15 - 16)

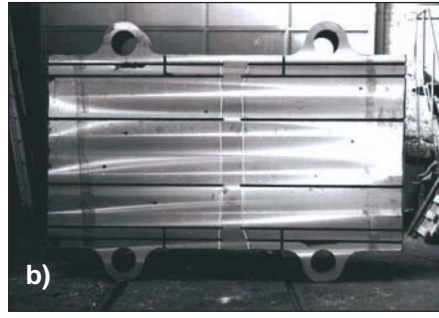


Bild 4: In zwei Teile zerbrochener Maschinentisch einer Viersäulenpresse aus EN-GJS-400-15 vor (a) und nach (b) dem Reparaturschweißen

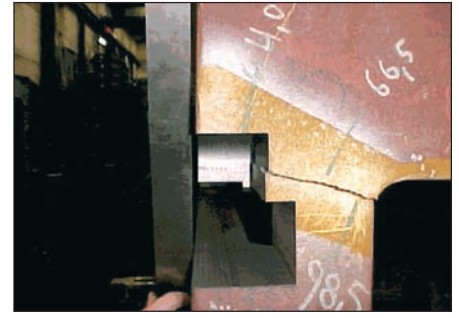


Bild 6: Bei der Bearbeitung gerissener Maschinentisch aus EN-GJS-400-15, der erfolgreich wieder geschweißt werden konnte.

2.2 Prozesssicherheit beim Reparaturschweißen

Das hier beschriebene Reparaturschweißen ist ein bewährtes und auch von den einschlägigen Abnahmegesellschaften anerkanntes, weil sicher beherrschbares Verfahren, welches auf eine lange Tradition zurückblicken kann. Es weist die folgenden Vorzüge auf:

- Das Gefüge des Schweißwerkstoffes kann durch die Kombination der am Gesamtprozess beteiligten jeweils für sich prozesssicheren Einzelverfahren (Schweißen, Schmelzen, Glühen) weitgehend wie das Gefüge des Grundwerkstoffes eingestellt werden;
- Da das gesamte Bauteil nach dem Schweißprozess vollständig spannungsarm geglüht wird, kann Verzug bei der nachträglichen Fertigbearbeitung des Bauteiles mit großer Sicherheit ausgeschlossen werden.

Deshalb können die Bauteile ohne jegliche Gebrauchsminderung wieder in den Produktionsprozess eingebaut werden.

3 Weitere Anwendungsbeispiele

Im folgenden Abschnitt werden noch einmal einige besonders interessante reparaturgeschweißte Bauteile im Bild mit einer kurzen Erläuterung ihrer technischen Daten und ihrer Verwendung dargestellt. Wie nachfolgende Beispiele belegen, können alle Gusseisenwerkstoffe erfolgreich reparaturgeschweißt werden.

Das **Bild 4a** zeigt die beiden Bruchhälften eines in zwei Teile zerbrochenen Maschinentisches (Werkstoff EN-GJS-400-15, Gewicht 4 t, L x B: 5 000 x 1 800 mm) von einer Viersäulenpresse bei der Anlieferung zum Reparaturschweißen. Im **Bild 4b** ist das Bauteil nach der Reparaturschweißung unmittelbar vor Wiedereinbau in den Maschinenständer zu sehen. Für die Instandsetzung wurden 320 kg artgleiches Schweißgut benötigt.

Mit **Bild 5** wird die erfolgreiche Reparaturschweißung eines Ständerteils einer Spindelpresse aus EN-GJL-250 dokumentiert. Die Bruchteile des Anlieferungszustandes (**Bild 5a**) wurden durch Reparaturschweißen mit einem artgleichen

Schweißgut wieder zum funktionstüchtigen Ständer (**Bild 5b**) zusammengefügt. Die beiden Bruchteile hatten ein Gewicht von 8 000 und 11 000 kg. Der reparierte Ständer der Abmessungen L x B x H: 3 120 x 1 750 x 860 mm wiegt insgesamt 35 000 kg. Für die Instandsetzung wurden 410 kg Schweißgut benötigten.

Der Maschinentisch aus **Bild 6** war nach dem Abguss während der Bearbeitung durch Eigenspannungen gerissen. Der Riss wurde schweißgerecht ausgearbeitet und mit artgleichem Werkstoff EN-GJS-400-15 verschweißt. Der Maschinentisch ist L x B x H: 6 000 x 4 000 x 1 500 mm groß und hat ein Gewicht von 45 000 kg.

Die im **Bild 7** gezeigte Exzenterpresse aus EN-GJS-400-15 war im Ständer komplett durchgebrochen. Das etwa 5 000 kg schwere Gusteil konnte erfolgreich durch Reparaturschweißen mit artgleichem Schweißgut wieder instandgesetzt werden.

Die Risse im Kopfbereich der im **Bild 8** abgebildeten Exzenterpresse aus EN-GJS-400-15 wurden ebenfalls mit artgleichem Schweißgut beseitigt. Für das Schweißen des 10 000 kg schweren Gussteils wurde 100 kg Schweißgut benötigt.

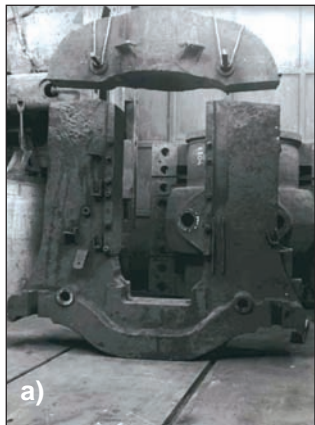


Bild 5: Zerbrochenes (a) und geschweißtes (b) Ständergussteil für eine Spindelpresse aus EN-GJL-250



Bild 7: Durchbrochener Ständer einer Exzenterpresse aus EN-GJS-400-15, der artgleich wieder geschweißt wurde.

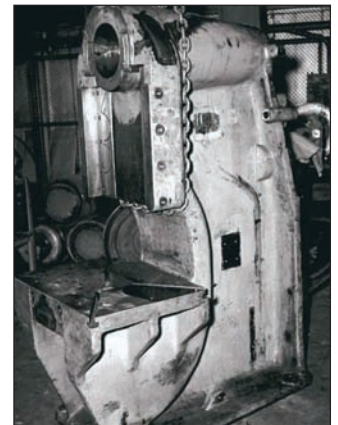


Bild 8: Exzenterpressen-Gussteil mit Rissen im Kopfbereich aus EN-GJS-400-15, die durch artgleiches Schweißen beseitigt werden konnten.