

Schweiß- und wärmebehandelbarer Druckguss

Das Druckgießen ist das wirtschaftlich bedeutendste Verfahren für die Erzeugung von Gussteilen aus Aluminiumlegierungen. Die Vorteile dieses Verfahrens liegen in der Möglichkeit, dünnwandige und somit leichte Teile komplizierter Geometrie in engen Toleranzen mit sehr guter Oberflächenqualität wirtschaftlich produzieren zu können. Kurze Zykluszeiten, unter anderem bedingt durch kurze Formfüllzeiten, führen zu einer hohen Produktivität des Verfahrens. Man ist deshalb bestrebt, die Einsatzmöglichkeiten dieses produktiven Verfahrens zu vergrößern. Hierbei bietet sich das Schweißen an, weil so zum Beispiel Hohlkörper aus zwei Halbschalen herstellbar sind. Auch größere Bauteile oder Verbundkonstruktionen aus Druckgussteilen und Strangpress- oder Walzprofilen sind Bereiche, in denen schwere Sand- und Kokillengussteile durch leichte Druckgussteile ersetzt werden können. Die schnelle Formfüllung beim Druckgießen verhindert jedoch den wirtschaftlichen Einsatz verlorener Kerne, so dass sich durch Druckgießen direkt keine Hohlkörper herstellen lassen. Außerdem können aufgrund der schnellen Formfüllung große Mengen an Gasen im Werkstoff eingeschlossen werden, welche die Schweißbarkeit und Wärmebehandelbarkeit erheblich beeinträchtigen. Im Folgenden wird der derzeitige Stand des Schweißens und Wärmebehandelns von Druckgussteilen dargelegt.

1 Einleitung

In verschiedenen Arbeiten [1 bis 14] konnte die Schweißbarkeit des Werkstoffs Aluminiumdruckguss erarbeitet und nachgewiesen werden. Die in [1, 2, 6 bis 8] beschriebene Weiterentwicklung der Gießtechnik eröffnet dem Druckgießverfahren durch den jetzt möglichen Einsatz von Druckgussteilen in Schweißkonstruktionen eine Vielzahl neuer Anwendungsbereiche. Durch Fügen zweier Bauteile können Hohlkörper hergestellt werden und auch Konstruktionselemente, wie Knoten zwischen Aluminiumprofilen, lassen sich als Druckgussteil formen und durch Schweißen mit Profilen verbinden. Insbesondere die Herstellung solcher Mischverbindungen zwischen Druckgussteilen und Teilen aus Knetmaterial bietet dem Anwender neue konstruktive und fertigungstechnische Möglichkeiten.

Verfahrensbedingt befinden sich im Aluminiumdruckguss sehr große Gasmenngen. Für das Druckgussteil sind die eingeschlossenen Gasmenngen zunächst von untergeordneter Bedeutung, sofern diese Gase durch den Nachdruck komprimiert werden und die Poren von außen nicht sichtbar sind. Dagegen wird die Schweißbarkeit von Aluminiumdruckguss durch die eingeschlossenen Gase stark beeinträchtigt. Untersuchungen zeigten, dass sich Aluminiumdruckguss mittleren Gasgehalts mittels Pressschweißverfahren fügen lässt [15 bis 18]. Für das Schmelz-

schweißen von Aluminiumdruckguss muss der Gasgehalt weiter abgesenkt werden, weil sonst mit einer starken Poren- und Blasenbildung im Bereich der Schweißnaht gerechnet werden muss [5, 15, 16, 19 bis 21]. Druckguss mit einem hinrei-

chend reduzierten Gasgehalt lässt sich durch Schmelzschweißen fügen [22 bis 24].

Druckgegossene Aluminiumbauteile werden zunehmend in der schweißtechnischen Weiterverarbeitung eingesetzt (Bild 1). Eine schweißtechnische Weiterverarbeitung muss schon bei der konstruktiven Gestaltung der Gussbauteile und auch der Ausführung des Druckgießprozesses beachtet werden, wenn das Ergebnis wirtschaftlichen und qualitativen Anforderungen in gleicher Weise genügen soll [25]. So ist der erfolgreiche Einsatz feingliedriger Druckgussbauteile in hoch belasteten Schweißkomponenten des Straßenfahrzeugbaus nur möglich geworden, weil an die Schweißverfahren angepasste Konstruktionselemente und auch eine weiterentwickelte und optimierte Gießtechnik zum Einsatz gekommen sind.

Beispiele für den Einsatz von schweißgeeignetem Druckguss sind unter anderem folgende Anwendungen:

- Space-Frame-Strukturen von Fahrzeugen verschiedener Hersteller,
- PKW-Fensterrahmen aus Strangpressprofilen, die mittels Gussknoten verbunden sind,
- Wärmetauscher von PKW-Standheizungen,
- geschweißte Armlehnen von Flugzeugsitzen,
- Fahrwerkselemente vom PKW,
- Strukturelemente in Flugzeugsitzen.

Diese Beispiele zeigen das Potential von schweißgeeignetem beziehungsweise wärmebehandeltem Druckguss.



Bild 1: Strukturteile aus Aluminiumdruckguss für Automobile von AUDI, die im Karosserie- und Fahrgestellbereich zu Verbundkonstruktionen verschweißt zum Einsatz kommen (Bilder: Georg Fischer AG, Bereich Automotive, Schaffhausen)

2 Anforderungen an schweißgeeigneten und wärmebehandelbaren Aluminiumdruckguss

Die wesentliche Forderung an geschweißte Baugruppen ist ihre Schweißbarkeit. Nach **DIN 8528** ist die Schweißbarkeit wie folgt definiert: „Die Schweißbarkeit eines Bauteils aus metallischem Werkstoff ist vorhanden, wenn der Stoffschluss durch Schweißen mit einem gegebenen Schweißverfahren bei Beachtung eines geeigneten Fertigungsablaufes erreicht werden kann. Dabei müssen die Schweißungen hinsichtlich ihrer örtlichen Eigenschaft und ihres Einflusses auf die Konstruktion, deren Teil sie sind, die gestellten Anforderungen erfüllen“ (siehe auch **ISO 581**, **EN 45-1974**, [26]). Dieses ist im **Bild 2** schematisch dargestellt. Danach sind folgende Anforderungen zu realisieren:

I. Schweißseignung

Schweißseignung ist das Vermögen, einen bestimmten Werkstoff mit einem Verfahren schweißen zu können, ohne dass seine Eigenschaften wesentlich beeinträchtigt werden. Verfahrensbedingt werden beim Druckgießen Gase (unter anderem Wasserstoff und Stickstoff) unter hohem Druck im Gussteil eingeschlossen und zwangsgelöst. Dies hat zur Folge, dass diese Gase sich zum Beispiel beim Schweißen ausdehnen und zu Porosität in den Schweißnähten führen können. Schweißgeeignete Druckgussbauteile zeichnen sich deshalb durch geringe Gasgehalte aus (siehe auch [27]). Wesentlich für schweißgeeignete Druckgussbauteile ist eine gießgerechte Konstruktion, die die speziellen gießtechnischen Erfordernisse berücksichtigt.

II. Schweißmöglichkeit

Schweißmöglichkeit einer schweißtechnischen Fertigung heißt, dass die an einer Konstruktion vorgesehenen Schweißungen unter den gewählten Fertigungsbedingungen hergestellt werden können. Wesentlich für schweißgeeignete Druckgussbauteile ist eine dem Gießverfahren angepasste Konstruktion, welche die Schweißmöglichkeit berücksichtigt.

III. Schweißsicherheit

Schweißsicherheit ist die Eigenschaft der Schweißverbindungen, in einer Konstruktion alle betriebsbedingten Beanspruchungen für die Dauer des Einsatzes ohne funktionsstörende Schädigung zu ertragen. Zu beachten sind hierbei die lokalen Werkstoffeigenschaften der Füge-teile sowie der Schweißnaht.

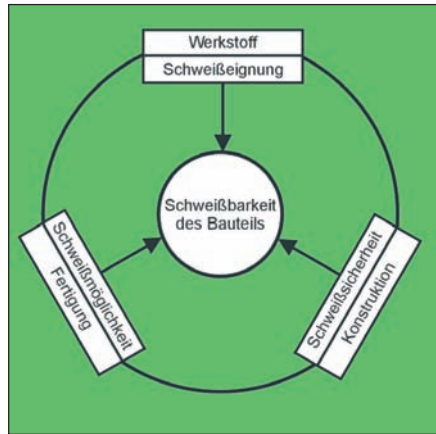


Bild 2: Zusammenhang zwischen den bestimmenden Einflussgrößen auf die Schweißbarkeit [26]

IV. Konstruktionsschweißung

Eine Konstruktionsschweißung ist eine von der Konstruktion her vorgesehene Schweißung. Im Gegensatz dazu werden Fertigungs- und Reparaturschweißungen unterschieden (siehe auch **DIN 15614-4**).

Druckgegossene Aluminiumbauteile werden zunehmend auch in der schweißtechnischen Weiterverarbeitung eingesetzt. Die verwendeten Aluminiumgusslegierungen sind grundsätzlich schweißgeeignet. Der Gießprozess bedingt allerdings Besonderheiten, die nicht nur bei der Auswahl des geeigneten Schweißverfahrens zu beachten sind. Vielmehr ist die Notwendigkeit einer schweißtechnischen Weiterverarbeitung schon bei der konstruktiven Gestaltung der Gussbauteile und auch der Ausführung des Druckgießprozesses zu beachten, wenn das Ergebnis wirtschaftlichen und qualitativen Anforderungen in gleicher Weise genügen soll. So ist der erfolgreiche Einsatz filigraner Druckgussbauteile in hoch belasteten Schweißkomponenten des Straßenfahrzeugbaus nur möglich geworden, weil an die Schweißverfahren angepasste Kon-

struktionselemente und auch eine weiterentwickelte und optimierte Gießtechnik zum Einsatz gekommen sind (**Bild 3**).

Die erreichbaren Schweißnahtgüten an solchen Druckgussteilen stehen auch in Abhängigkeit der Fertigungsparameter und der angewendeten Schweißprozesse. So kann zum Beispiel die Porosität der Schweißnähte beim Schmelzschweißen mit steigender Schweißgeschwindigkeit bei gleicher Qualität der Druckgussteile ansteigen. Entscheidend für die erreichbare Qualität ist deshalb grundsätzlich die Schweißseignung der Druckgussteile.

V. Eignung zur Wärmebehandlung

Für wärmebehandelbare Bauteile aus Aluminiumdruckguss gelten grundsätzlich die gleichen Anforderungen wie für schweißgeeignete Bauteile. So muss der Gasgehalt des Werkstoffes so niedrig sein, dass sich keine ausdehnenden Poren bilden. Im Unterschied zur Schweißseignung muss jedoch bei wärmebehandelbaren Bauteilen das gesamte Bauteil erwärmt werden. Somit müssen alle Bereiche des Bauteils gasarm sein. Liegen gasgefüllte Hohlräume vor, so expandieren diese bei der Erwärmung während des Schweißprozesses. Grund hierfür ist der thermisch bedingte Druckanstieg innerhalb der Poren und die geringe Warmfestigkeit der Legierungen.

Grundsätzlich tritt bei allen wärmebehandelten Bauteilen ein Verzug auf. Über die Größenordnung des Verzuges und damit die Notwendigkeit eines Richtvorganges kann keine allgemeingültige Aussage gemacht werden. Vielmehr muss auf Basis einer Einzelbewertung entschieden werden, ob ein auftretender Verzug durch ein mechanisches Richten der Bauteile ausgeglichen werden muss oder ob der Verzug tolerierbar ist.



Bild 3: Schweißgeeignete Druckgussteile für den Türrahmen von einem PKW

3 Werkstoffe für hochbeanspruchte Bauteile

Viele Anwendungen erfordern spezielle Festigkeitseigenschaften der Bauteile. Verwendet werden üblicherweise Werkstoffe der Systeme Aluminium-Silicium und Aluminium-Magnesium-Silicium [11].

3.1 Aluminium-Silicium-Legierungen

Die klassischen Druckgusslegierungen gehören zu dem System Aluminium-Silicium. Im Druckguss werden überwiegend untereutektische Legierungen verarbeitet. Um ein Aushärten zu ermöglichen, wird den entsprechenden Legierungen Magnesium zugesetzt. Das Gefüge der druckgegossenen Bauteile aus Aluminium-Silicium-Legierungen weist meistens nadelige Siliciumausscheidungen auf. Aufgrund der sehr kurzen Erstarrungszeit, die beim Druckguss vorliegt, wird im Gegensatz zum Sand- und Kokillenguss das Silicium in der Regel nicht durch eine Veredelung der Legierung eingeformt. Durch das nadelig ausgeschiedene Silicium kommt es auch bei nahezu lunkerfrei gegossenen Bauteilen bei einer äußeren Belastung zu einem relativ spröden Versagen. Eine Wärmebehandlung, bei der durch ein Lösungsglühen das Silicium rund eingeformt wird, kann die Duktilität des Werkstoffes deutlich erhöhen. Das Magnesium geht in Lösung und bildet bei der anschließenden Warmauslagerung kohärente beziehungsweise semi-kohärente Phasen, die zu einer deutlichen Erhöhung der Streckgrenze führen.

Im **Bild 4** ist das Spannungs-Dehnungs-Diagramm einer Probe aus der Legierung EN AC-AISi10Mg mit und ohne Wärmebehandlung abgebildet. Deutlich ist die Erhöhung der Duktilität durch die Wärmebehandlung zu erkennen. Gleichzeitig haben sich die Dehngrenze und die Zugfestigkeit erhöht. Ein weiterer Vorteil der Wärmebehandlung ist, dass das gesamte Bauteil beeinflusst wird.

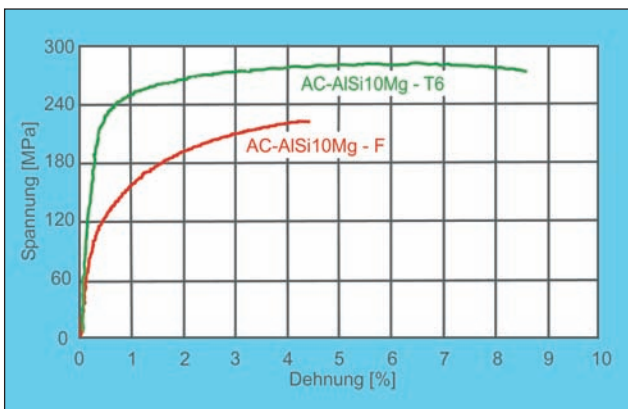


Bild 4: Spannungs-Dehnungs-Kurve einer Probe aus der Legierung EN AC-AISi10Mg

Der Nachteil der T6-Wärmebehandlung ist, dass das gesamte Bauteil auf Lösungstemperatur gebracht werden muss, die knapp unter der Schmelztemperatur liegt. Hiernach erfolgt ein Abschrecken in einem Kühlmedium. Während des Lösungsglühens verliert das Bauteil an Festigkeit und es kommt zu einem Verzug. Unter Umständen ist daher nach dem Lösungsglühen ein Richtvorgang des Bauteils notwendig.

Durch die Wahl der Temperaturen und Zeiten in den verschiedenen Verfahrensschritten während der Wärmebehandlung können die mechanisch-technologischen Eigenschaften beeinflusst werden. Eine unabhängige Beeinflussung der Kennwerte ist jedoch nicht möglich. So verringert sich die Bruchdehnung bei einer Erhöhung der Dehngrenze.

3.2 Aluminium-Magnesium-Silicium-Legierungen

Die Aluminium-Magnesium-Legierungen benötigen keine Wärmebehandlungen, um ihre Festigkeiten zu erzielen. Als Beispiel für diese Legierungsgruppe ist hier die Legierung EN AC-ALMg5Si2Mn zu nennen. Unter der Voraussetzung, dass der Guss frei von Einschlüssen und Lunkern ist, hängt die Festigkeit dieser Legierung von ihrer Wandstärke ab. Selbstverständlich ist auch die Festigkeit abhängig vom Anteil der verschiedenen Legierungsbestandteile.

Es ergeben sich somit inhomogene Festigkeitseigenschaften des Bauteils. Im **Bild 5** ist die Abhängigkeit der mechanisch-technologischen Eigenschaften dieser Legierung von der Wandstärke dargestellt. Die zugehörigen Proben wurden von unterschiedlich dicken Gussteilbereichen entnommen. Diesem für diese Legierungsgruppe typischen inhomogenen Eigenschaftsbild steht der Vorteil gegenüber,

dass keine Wärmebehandlung notwendig ist und somit der Verzug der Bauteile und das unter Umständen notwendige Richten durch eine Wärmebehandlung nicht auftritt. Es ist jedoch notwendig, dass bei der Auslegung der Bauteile die Festigkeitseigenschaften entsprechend der Bauteilgeometrien berücksichtigt werden. Im Rahmen einer Eigenentwicklung ist es der ae group gelungen, die lokalen Festigkeitseigenschaften von Bauteilen dieser Legierungsgruppe zu berechnen (**Bild 6**). Dargestellt sind die lokale Dehngrenze, Zugfestigkeit und Bruchdehnung eines Bauteils. Die berechneten Werte konnten im Bauteilversuch verifiziert werden.

Im Bereich der Schweißnaht (WEZ) ist aufgrund des Wärmeeinflusses des Schweißprozesses mit einer Absenkung der Festigkeitseigenschaften zu rechnen. Als Richtwert kann für T6 wärmebehandelte Bauteile aus der Legierung EN AC-AISi10Mg eine Festigkeitsreduzierung von 30 bis 40 % in der WEZ angenommen werden. Im Gusszustand dieser Legierungsgruppe kann von einer Festigkeitsreduzierung von 20 bis 30 % ausgegangen werden. Bei der Legierungsgruppe EN AC-ALMg5Si2Mn fallen die Festigkeitsreduzierungen geringer aus. Hier ist nach einer Wartezeit zur Kaltaushärtung der WEZ mit einer Festigkeitsreduzierung von 10 bis 20 % zu rechnen.

4 Schweißen von Aluminiumdruckguss

4.1 Die Schweißverfahren

Für das Schweißen von Bauteilen aus schweißgeeignetem Aluminiumdruckguss sind alle für den Werkstoff Aluminium geeigneten Schweißverfahren ebenfalls geeignet. Jedoch sind bei einzelnen Verfahren einige Besonderheiten zu beachten.

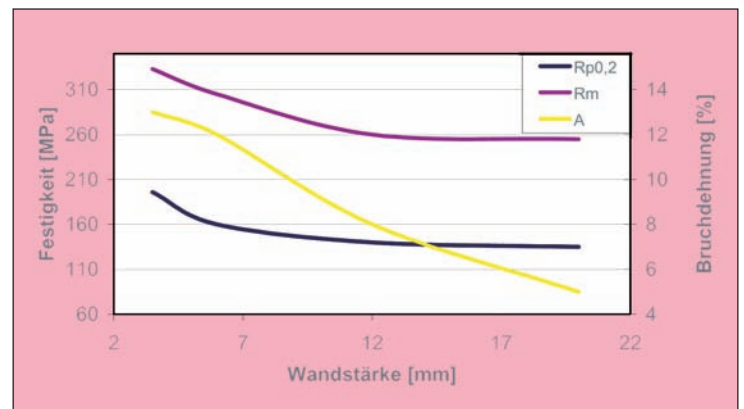


Bild 5: Zugfestigkeit, Dehngrenze und Bruchdehnung in Abhängigkeit der Wandstärke einer Legierung EN AC-ALMg5Si2Mn-F

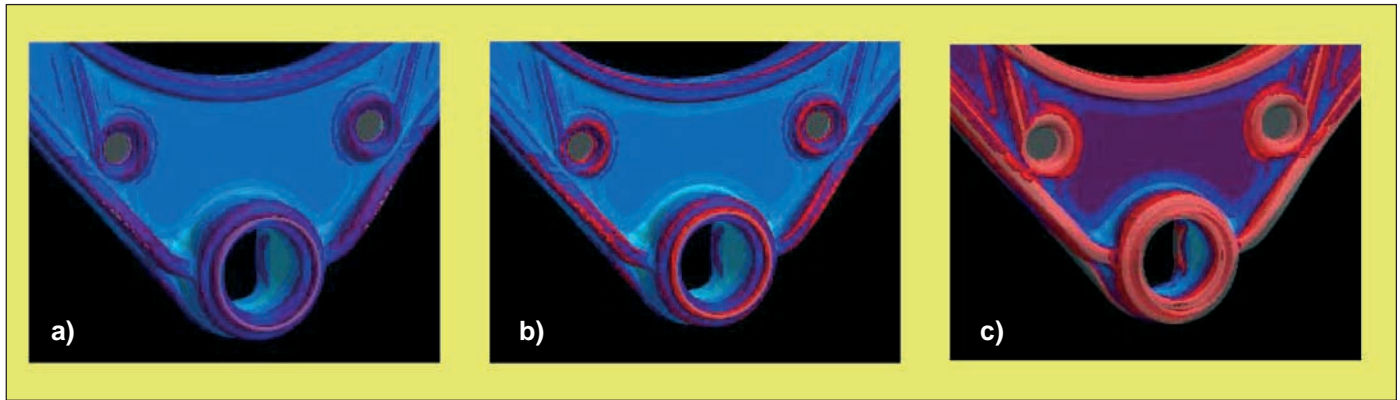


Bild 6: Berechnete mechanisch-technologische Eigenschaften eines Bauteils aus der Legierung EN AC-ALMg5Si2Mn
 a) Dehngrenze
 b) Zugfestigkeit
 c) Bruchdehnung

I. Lichtbogenschweißverfahren

Bei allen Lichtbogenschweißverfahren ist die geringe Viskosität der Schmelze von Bauteilen aus Aluminiumdruckguss zu berücksichtigen. Diese kann dazu führen, dass die Naht Fehler aufweist.

II. MIG-Schweißen

Das MIG-Schweißverfahren ist durch inerte Schutzgase und eine abschmelzende Drahtelektrode gekennzeichnet, die als Schweißzusatzwerkstoff dem Schmelzbad zugeführt wird. Der Lichtbogen brennt zwischen der positiv gepolten Drahtelektrode und dem negativ gepolten Werkstück. Hierdurch herrscht an der abschmelzenden Drahtelektrode die gewünschte hohe Temperatur, so dass eine hohe Abschmelzleistung von bis zu 3,5 kg/h erreichbar ist. An schweißgeeigneten Druckgussbauteilen können porenarme Nähte in Großserie erzeugt werden (Bild 7) [6, 34, 35, 38 bis 40].

III. Pressschweißverfahren

Bei den Pressschweißverfahren sind in der Regel keine Besonderheiten zu beachten. Aufgrund der feinkörnigen Randschicht der Aluminiumdruckgussbauteile ist beim Widerstandspunktschweißen ein deutlich geringeres Anlegieren an den Elektroden zu beobachten als bei Aluminium-Knetwerkstoffen üblich [2].

IV. Laserschweißen

Der Laserschweißprozess reagiert sehr empfindlich auf alle Störungen. Aufgrund dieser Tatsache kommt es, wenn die Schmelzzone der Laserschweißung einen Gaseinschluss oder Lunker berührt, zu Auswürfen und Unterbrechungen des Schweißprozesses. Jedoch können an mit angepasster Qualität gegossenen Bauteilen auch störungsfreie Nähte erzeugt werden.

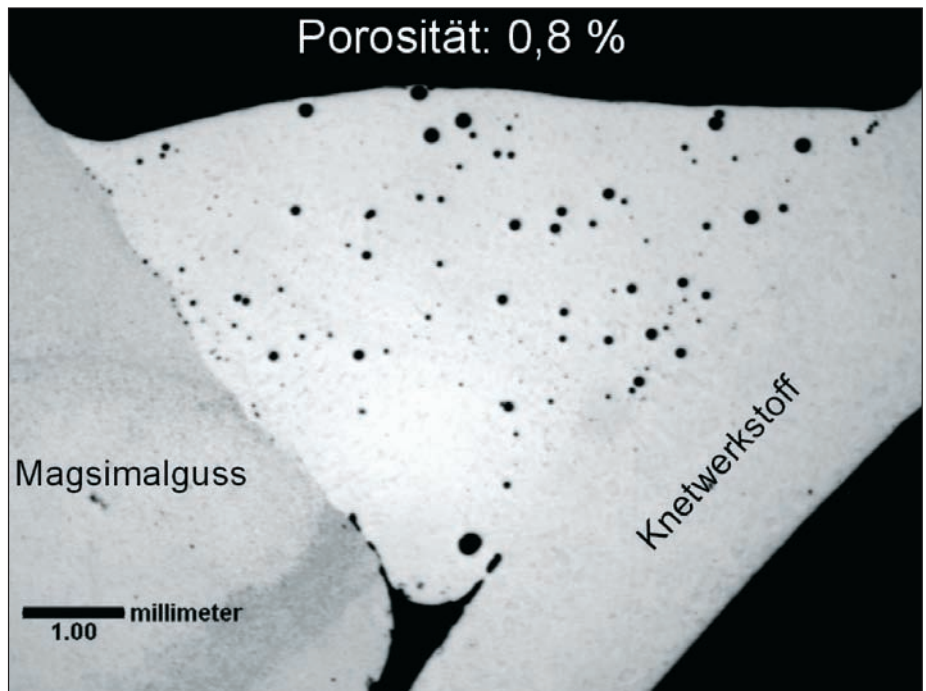


Bild 7: Metall-Inertgas-Schweißung (MIG) an einem Aluminiumdruckgussteil mit niedrigem Gasgehalt

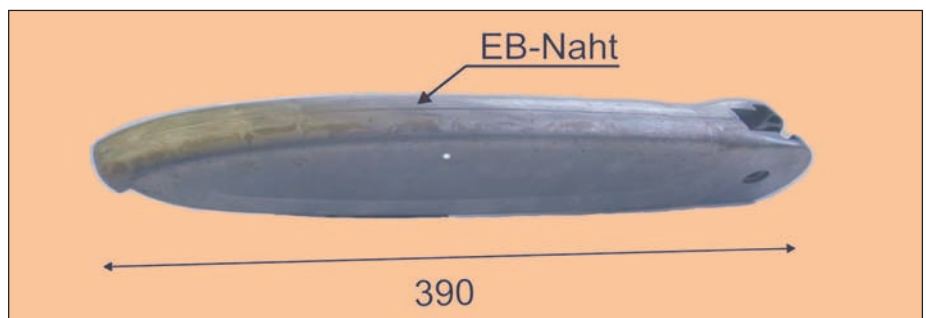


Bild 8: Im Sichtbereich des Elektronenstrahls geschweißtes Bauteil aus Aluminiumdruckguss

V. Elektronenstrahlschweißen

Das Elektronenstrahlschweißen reagiert wesentlich unanfälliger auf Störungen als das Laserschweißen. Durch die Möglichkeit, mit dem Elektronenstrahl das Schmelzbad zu bewegen, können auch

bei kleinen Störungen des Schweißprozesses durch Gaseinschlüsse oder Lunker einwandfreie Nähte erzeugt werden. Bei hinreichend geringem Gasgehalt der Bauteile lassen sich auch Nähte mit einer hohen Oberflächenqualität erzeugen (Bild 8).

4.2 Prüfung der Schweißeignung in der Vorserie

Die Schweißeignung der Druckgussbauteile kann durch Arbeitsproben nachgewiesen werden. Die Bestimmung der Porosität in Querschliffen sollte nach dem **VDG-Merkblatt P201** erfolgen. Prüfungen sind zum Beispiel nach **DVS-Richtlinie 0706** durchzuführen.

4.3 Nachweis der Schweißeignung beim Gießen unter Serienbedingungen

Hier ist eine zerstörende Prüfung von Schweißproben sinnvoll. Für solche Tests ist ein WIG-Schweißen ohne Zusatzwerkstoff gut geeignet. Es kann mit Wechselstrom unter Argon oder mit Gleichstrom unter Helium durchgeführt werden. Unter Helium ist die Lichtbogen-Fußpunkt-Temperatur höher als unter Argon [28]. Bei Argon ist der Einflussbereich des Lichtbogens auf der Werkstückoberfläche größer als bei Helium. Somit ergeben sich unterschiedliche Prüfbedingungen in Abhängigkeit des gewählten Schutzgases. Die Wahl des Schutzgases ist deshalb unter anderem abhängig von dem Serienschweißverfahren, dem Werkstoff und der Nahtgeometrie.

Wesentlich ist bei der Durchführung der Schweißung, dass die Entgasung des Bades behindert wird. Es ergeben sich dann sehr große, zulässige Porositäten in den Testnähten, wie folgendes Beispiel zeigt:

- Zulässige Porosität in der Schweißnaht 10 %,
- Aufschmelzgrad des Druckgussbauteiles in der realen Naht 25 %,
- Anteil der Poren in der Schweißnaht, die vom Druckgussbauteil herrühren 0,6,
- Zulässige Porosität in der Testnaht (10 % x 0,6 / 25 %) 24 %.

Bei dieser Modellrechnung wurde die Entgasung der späteren Schweißnaht nicht berücksichtigt. Somit ist die errechnete zulässige Porosität noch mit einer Sicherheit zu versehen. Erreichbar sind an Druckgussbauteilen in der Großserie bei einer optimierten Geometrie der Form und optimierten Prozessen deutlich geringere Porositäten in den Prüfnähten (**Bild 9**).

4.3 Nachweis der Güte beim Schweißen

Es sind regelmäßige zerstörende Prüfungen (zum Beispiel Schiffe ausgewertet gemäß **VDG-Merkblatt P201**) oder zerstörungsfreie Prüfverfahren einzusetzen.

Die erreichbaren Schweißnahtgüten an Druckgussteilen stehen auch in Abhängigkeit der Fertigungsparameter und der angewendeten Schweißprozesse. So kann zum Beispiel die Porosität der Schweißnähte beim Schmelzschweißen mit steigender Schweißgeschwindigkeit bei gleicher Qualität der Druckgussteile ansteigen [6, 29, 30].

5 Konstruktionsrichtlinien

Die für das schweißgerechte Konstruieren mit dem Werkstoff Aluminium bekannten Regeln lassen sich nicht ohne weiteres auf den Aluminiumdruckguss übertragen. Bei Schweißkonstruktionen mit Druckgussteilen kommt der Auswahl und Gestaltung geeigneter Schweißstöße besondere Bedeutung zu [31 bis 37]. Zu beachten ist bei der Wahl der Geometrie des Schweißstoßes, welches Schweißverfahren eingesetzt werden soll. Durch das gewählte Schweißverfahren ergeben sich Anforderungen an den Schweißstoß. Aus der Kombination des Schweißstoßes mit dem Schweißverfahren ergeben sich aber auch Prozessgrenzen, die einen großen Einfluss auf die Herstellkosten der Verbindung haben können.

Für **Stumpfstöße** können verschiedene Schweißverfahren eingesetzt werden. Beim Metall-Inertgas-Impuls-Schweißen von Aluminiumdruckguss ergab sich in Untersuchungen [30] ein größerer Einfluss der Schweißparameter auf die Nahtgüte als dies von Schweißungen an Knetwerkstoffen bekannt ist. Mit optimierten Parametern innerhalb von sehr engen Grenzen lassen sich Stumpfnähte erzeugen,

die auch bei schwingenden Beanspruchungen die bestmögliche Festigkeit gewährleisten. Dies trifft auch für das Elektronenstrahlschweißen zu. Hierbei kann die Schweißgeschwindigkeit nur bis zu einem vom Werkstoff bestimmten Grenzwert erhöht werden. Dieser ist erreicht, wenn die für die Schweißgeschwindigkeit erforderliche Strahlleistung zu einer verstärkten Werkstoffverdampfung führt, da die entstehenden Metalldämpfe den Schweißprozess unterbrechen können.

Beim Wolfram-Plasmaschweißen mit plusgepolter Elektrode (WPL+) zeigt sich, dass bereits kleine Maßabweichungen des Stumpfstoßes Fehler in den Nähten hervorrufen. Falls beim Schweißen an Stumpfstößen eine Badsicherung verwendet wird, kann die Naht nicht zerstörungsfrei geprüft und möglicherweise entstandene Fehler können nicht erkannt werden. WPL+geschweißte Stumpfstöße und nicht geschweißte Proben aus Aluminiumdruckguss wurden in Biegewechselversuchen geprüft [30]. Das wesentliche Ergebnis dieser Prüfungen ist, dass die Lebensdauerwerte geschweißter Proben zum Teil nur geringfügig unter denen von ungeschweißten Proben liegen. Dies gilt bei Proben mit abgearbeiteter Naht für hohe und niedrige Spannungsamplituden, so dass für solche Proben auch die Biegewechselfestigkeit nur wenig unter dem Wert des Grundwerkstoffs anzusetzen ist. Bei Proben mit belassener Naht ergeben sich bei einer relativ hohen Spannungsamplitude die gleichen Lebensdauerwerte wie bei Proben mit abgearbeiteter Naht. Dies lässt den Schluss zu, dass sich bei schwingender Beanspruchung mit hohen Spannungsamplituden die innere Kerbwirkung des Werkstoffs stärker auswirkt als die durch Schweißnähte bedingte.

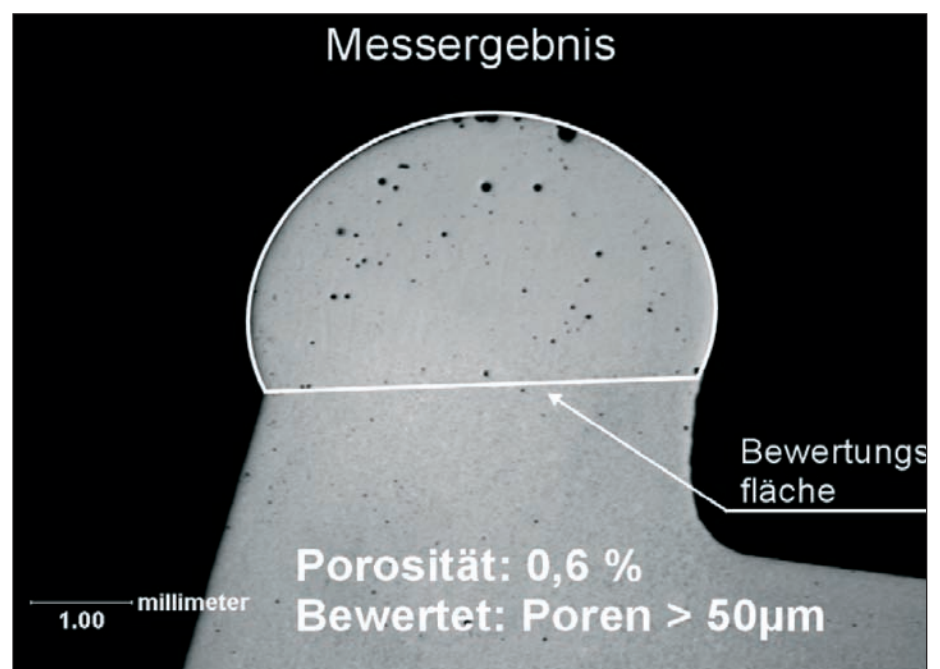


Bild 9: Querschliff einer Testnaht an einem schweißgeeigneten Druckgussbauteil

Der **Überlappstoß** ist fertigungstechnisch gesehen günstiger als der Stumpfstoß. Allerdings können die auf den überlappten Flächen befindlichen Oxidhäute Fehler hervorrufen, wie sie bei Stumpfstoßen nicht auftreten. Bei der Schweißung von rohrförmigen Fügeteilen kann der Kalt-draht beim Überschweißen des Naht-anfangs durch das zuvor eingebrachte Schweißgut angehoben werden und es kommt dann zu Bindefehlern. Die damit verbundene Fertigungsunsicherheit ist der Grund, um von der Anwendung des WIG- oder WPL+-Schweißens bei solchen Überlappstoßen abzuraten.

Eckstöße lassen sich mit und ohne Zusatzwerkstoff fertigen. Ohne Schweißzusatzwerkstoff konnten Dichtnähte mit hohen Schweißgeschwindigkeiten hergestellt werden, bei denen allerdings die Stoßquerschnitte nicht vollständig angeschlossen waren. Mit Zusatzwerkstoff kann ein vollständiger Anschluss erreicht werden. Hierbei können aber Fehler im Nahtgrund auftreten.

Auch **T-Stöße** mit Kehlnähten lassen sich mit gutem Ergebnis fertigen. Die Nähte haben bei optimierten Schweißprozessen keine Einbrandkerben und eine beanspruchungsgerechte Nahtform. Sie können porenarm erzeugt werden.

Bördelnähte lassen sich, unter anderem weil kein Zusatzwerkstoff nötig ist, mit großen Schweißgeschwindigkeiten herstellen. Die Nähte haben im Nahtgrund einen unverschweißten Spalt, der durch die zwischen den Fügeteilen vorhandene Oxidhaut entsteht. Deshalb eignen sich diese Nähte lediglich als sogenannte Dichtnähte. Bei Bördelnähten ist es aber auch möglich, durch Anpassen des Stoßquerschnittes Schweißverbindungen mit stumpfnahtähnlichen Nahtformen zu erzeugen. Solche Nähte sind hochbelastbar und lassen sich mit WIG- oder Plasmaschweißbrennern fertigen, die keine Kalt-drahtzufuhreinrichtung haben.

Die **Wannenlage** ist bei allen Stoßformen zu bevorzugen, weil die Viskosität der Schmelze von Aluminium-Druckguss-Bauteilen in der Regel sehr klein ist. Jedoch kann es zu einer geringfügigen Verlängerung der Fertigungsdauer kommen, weil unter Umständen ein erhöhter Positionieraufwand erforderlich ist, um alle Nähte in Wannenlage zu fertigen.

Auch Schweißnähte zwischen verschiedenen Werkstoffen der Aluminiumgruppe können erzeugt werden. Solche Mischverbindungen lassen sich mit der gleichen Fertigungssicherheit herstellen wie Verbindungen aus artgleichen Werkstoffen.

Aufgrund der unterschiedlich großen Wärmeleitung in den Knet- und Gusslegierungen bildet sich in ihren Mischverbindungen eine Zone nicht aufgeschmolzenen Knetmaterials aus, die zu einer Formabweichung der Schmelzzone führt. Dadurch wird jedoch die statische Festigkeit der Verbindung nicht beeinträchtigt. Die Größe dieser Zone nimmt mit steigender Schweißgeschwindigkeit ab.

6 Toleranzen

Die Toleranzen von urgeformten Bauteilen, zu denen auch druckgegossene Teile zählen, sind in der neu erscheinenden **ISO 8062-3** (Ersatz für die **DIN 1688-4**) festgelegt. Einzelne Geometriebereiche können deutlich genauer gefertigt werden, als wie es in der Norm festgelegt ist, was mit der Gießerei vereinbart werden kann.

Zu beachten ist, dass die verwendeten metallischen Dauerformen über ihre Lebensdauer verschleifen. Hierbei entstehen an hochbeanspruchten Formflächen unter anderem Risse und Ausbrüche, die sich an den gegossenen Teilen abbilden. Es ist daher hilfreich, wenn sich in der schweißtechnischen Weiterverarbeitung ein Spalt zwischen den Bauteilen befindet. Dieser Spalt kann Schweißverzüge aufnehmen und als Toleranzausgleich zwischen den Fügepartnern dienen.

Ein mechanisches Bearbeiten der Fugekanten ist in der Regel nicht notwendig. Allerdings muss die Oberflächenvorbehandlung auf die Anforderungen an die Nähte, das gewählte Schweißverfahren und die fertigungstechnischen Randbedingungen abgestimmt werden.

7 Zusammenfassung

Für das Schweißen von Aluminium und seinen Legierungen eignen sich Schmelzschweißverfahren und Pressschweißverfahren. Je nach Verfahrenswahl müssen verschiedene Anforderungen an den Grundwerkstoff gestellt werden, wenn die Schweißeignung vorhanden sein soll.

Sollen Bauteile aus Aluminiumdruckguss geschweißt werden, so ist, wiederum abhängig vom Schweißverfahren, der Gasgehalt in der Fügezone dafür ausschlaggebend, ob Schweißeignung vorliegt. Bei den Pressstumpfschweißverfahren hat der Gasgehalt einen geringen Einfluss, weil das Fügen mit einem Druck erfolgt, dessen Betrag etwa dem des Nachdruckes beim Druckgießen entspricht. Durch den hohen Druck wird die Porenbildung weitgehend unterdrückt. Die Schmelzschweißverfahren erfordern dagegen Bauteile mit einem zumindest in der Fügezone reduzierten Gasgehalt.

Falls diese Forderung nicht erfüllt wird, kommt es zu einer starken Porenbildung. In erster Linie ist der Einschluss von Wasserstoff für die beobachtete Porosität in der Fügezone verantwortlich. Er kann beispielsweise durch eine Reaktion des Aluminiums mit Wasser freigesetzt werden. Durch den beim Druckgießen angewendeten hohen Druck im Bereich von einigen hundert bar nach Ende des Gießvorganges wird der in Poren eingeschlossene Wasserstoff im Bauteil zunächst komprimiert und ist bei ungeschweißten und nicht wärmebehandelten Teilen meist nicht störend, sofern nicht Undichtigkeiten entstehen oder bei einer spanenden Bearbeitung Poren angeschnitten werden.



Bild 10: Diverse Fahrzeugteile aus Aluminiumdruckguss (Bild: ZGV, Düsseldorf)

Beim Schmelzschweißen wird der Werkstoff in der Schweißnaht aufgeschmolzen, der eingeschlossene Wasserstoff steht wegen der nicht vorhandenen Festigkeit des flüssigen Werkstoffs nur unter Umgebungsdruck. Infolge der Temperaturerhöhung dehnt sich der Wasserstoff beträchtlich aus. Entweder entweicht der Wasserstoff oder bei behinderter Entgasung kommt es zu einer hohen Porosität der Schweißnaht. Für die Eignung zum Schmelzschweißen ist es somit wesentlich, dass die Fügebereiche gasarm sind.

Schrifttum

- [1] Lutze, P.: Gasgehalt und Schweißbeignung von Aluminiumdruckguss, Dr.-Ing.-Dissertation TU Braunschweig 1989.
- [2] Nörenberg, K.: Untersuchungen zur Schweißbarkeit von Aluminiumdruckguss. Schweißtechnischer Forschungsbericht Bd. 44, DVS-Verlag, Düsseldorf 1991.
- [3] Woithe, H., u. W. Schwab: Herstellung vergütbarer Aluminiumdruckgussteile nach einem neuen Vakuumdruckgießverfahren. Aluminium 60 (1984) H. 12, S. 905 - 910.
- [4] Klock, H., K. Mechsner u. J. Priestersbach: Schweißen von Aluminiumdruckgussstücken. DVS-Berichte 74, S. 99 - 105, DVS-Verlag, Düsseldorf 1982.
- [5] Kron, E. C.: Das Schweißen von Aluminiumdruckguss. Aluminium 40 (1964) H. 11, S. 685 - 691.
- [6] Grov, N.: Mechanisiertes Schweißen von Aluminiumdruckguss. Shaker Verlag, Aachen 1999.
- [7] Wiesner, S.: Wirtschaftliche Herstellung von gasarmem, schweißbarem Aluminiumdruckguss. Shaker Verlag, Aachen 2003.
- [8] Winkler, R.: Porenbildung beim Laserstrahlschweißen von Aluminiumdruckguss. Herbert Utz Verlag, München 2004.
- [9] Koch, H., P. Lutze u. N. Grov: Schweißbarer Aluminiumdruckguss eignet sich für Sicherheitsbauteile. MM Maschinenmarkt Nr. 34 vom 20. August 2001, S. 48 - 50.
- [10] Koch, H., P. Lutze u. N. Grov: Sicherheitsbauteile aus schweißbarem Druckguss. Gießerei-Erfahrungsaustausch 44 (2001) H. 12, S. 529 - 532.
- [11] Lutze, P., T. Kinzler u. N. Grov: Vergleich von Aluminium-Silicium-Legierungen mit Aluminium-Magnesium-Legierungen. Druckguss-Praxis (2002) H. 2, S. 51 - 54.
- [12] Grov, N., P. Lutze u. H. Koch: Möglichkeiten des Aluminiumdruckgusses - Anwendungen dieser Technologie im Grenzbereich. Tagungsband Newcast Forum, Düsseldorf 2003, S. 113 - 125.
- [13] Grov, N., P. Lutze u. H. Koch: Möglichkeiten des Aluminiumdruckgusses. Gießerei 90 (2003) H. 7, S. 14 - 21.
- [14] Grov, N., P. Lutze u. H. Koch: Potentials of aluminium pressure die casting - Application of this technology close to the limits. Casting Plant and Technology international 19 (2003) No. 3, S. 18 - 27.
- [15] Ruge, J., u. P. Lutze: Untersuchungen zum Schweißen von Aluminiumdruckguss Gießerei 72 (1985) H. 5, S. 105 - 110.
- [16] Ruge, J., u. P. Lutze: Eignung verschiedener Schweißverfahren zum Schweißen von Aluminiumdruckguss des Legierungstyps Aluminium-Silicium. Gießerei 72 (1985) H. 12, S. 360 - 366.
- [17] Ruge, J., u. P. Lutze: Gasgehalt und Schweißbarkeit von Druckgussstücken aus Aluminium, Teil II. Aluminium 61 (1985) H. 11, S. 817 - 821.
- [18] Ruge, J., u. K. Nörenberg: Untersuchungen zum Widerstandspunkt- und Buckelschweißen von Aluminiumdruckguss mit Gleichstrom. Schweißen und Schneiden 42 (1990) H. 1, S. 34 - 39.
- [19] Ruge, J., u. P. Lutze: Gasgehalt und Schweißbarkeit von Druckgussstücken aus Aluminium, Teil I. Aluminium 61 (1985) H. 10, S. 742 - 746.
- [20] Ruge, J., u. D.-H. Rehbein: Untersuchung der Minimierung des Gasgehalts von Aluminiumdruckguss zur Verminderung der Gasporosität sowie zur Verbesserung der Schweißbeignung und Warmaushärtbarkeit. Abschlußbericht AIF Nr. 7642 v. 04.10.1991.
- [21] Geridönmez, Ö.: Hauptursachen der Porenbildung beim Schutzgasschweißen von Aluminium und ihre Vermeidung. Metall 30 (1976) H. 12, S. 1137 - 1150.
- [22] Ruge, J., u. P. Lutze: Eignung von Aluminiumdruckguss zum Plasma- und Elektronenstrahlschweißen, Gasgehalt von Druckguss und Folgen für das Schweißen. Schweißen und Schneiden 41 (1989) H. 5, S. 225 - 229.
- [23] Ruge, J., P. Lutze u. K. Nörenberg: Eignung von Aluminiumdruckguss zum Plasma- und Elektronenstrahlschweißen - Entgasungsmechanismen und Nahtgüte. Schweißen und Schneiden 41 (1989) H. 7, S. 327 - 332.
- [24] Ruge, J., u. K. Nörenberg: Herstellung und schweißtechnische Verarbeitung von gasarmem Aluminiumdruckguss. Gießerei-Rundschau 37 (1990) H. 7/8, S. 327 - 332.
- [25] VDG-Merkblatt F21, Herausgeber VDG, Düsseldorf 2004.
- [26] Ruge, J.: Handbuch der Schweißtechnik, Band 1., 3. neubearbeitete Auflage, Springer Verlag, Berlin 1991.
- [27] Grov, N.: Serienreifer Alu-Druckguss. Automobil Industrie (1999) H. 10, S. 90 - 94.
- [28] Wendelstorf, J.: Ab initio modelling of thermal plasma gas discharges PhD Thesis. Technische Universität Braunschweig 2000.
- [29] Andres, R. C., u. G. A. Chadwick: Sources of Hydrogen Porosity in Aluminium Alloy Welds - A Literature Survey u. Influence of Welding Variables on Porosity in Aluminium Alloy MIG Welds. Australian Wdg. Res. 4 (1975) H. 12, S. 1 - 19 und 52 - 64. zitiert in: Röhl, W.: Über den Einfluss von Wasserstoff auf die Porenbildung in Schweißverbindungen aus Aluminiumlegierungen. Schweißen und Schneiden 30 (1978) H. 4, S. 505.
- [30] Wohlfahrt, H., u. N. Grov: Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben AIF 9805: Untersuchungen zum Metall-Inertgas-Impuls-Schweißen von gasarmem Aluminiumdruckguss, Braunschweig 1997.
- [31] Der Aluminium-Fachmann, Teil 3: Konstruktionstechnik, Aluminium-Verlag, Düsseldorf 1978.
- [32] Kostea, D., G. Steidl u. W.-D. Strippelmann: Geschweißte Aluminium-Konstruktionen, Vieweg-Verlag, Braunschweig 1978.
- [33] Neumann, A.: Aluminium-Schweißkonstruktionen. VEB Verlag Technik, Berlin 1978.
- [34] Ruge, J.: Handbuch der Schweißtechnik, Band III: Konstruktive Gestaltung der Bauteile, Springer-Verlag Berlin/Heidelberg/New York 1985.
- [35] Scheermann, H.: Leitfaden für den Schweißkonstrukteur. Die Schweißtechnische Praxis, Bd. 17, DVS-Verlag, Düsseldorf 1986.
- [36] Neumann, A., u. A. Hobbacher: Schweißtechnisches Handbuch für Konstrukteure, Teil 4, Fachbuchreihe Schweißtechnik, Bd. 60, DVS-Verlag, Düsseldorf 1993.
- [37] Ruge, J.: Handbuch der Schweißtechnik, Band II: Verfahren und Fertigung, 3. Auflage, Springer-Verlag Berlin/Heidelberg/New York 1992.