

Schweißen von Aluminium und Aluminiumlegierungen

1. Einteilung und Eigenschaften von Aluminiumlegierungen

Aluminium-Knetlegierungen (EN 573 - Teil 1 bis Teil 3) und -Schweißzusätze (EN ISO 18273) werden heute in die Aluminium Association (AA) mittels eines vierstelligen Nummernsystems bezeichnet. Für die Gusswerkstoffe wurde in Europa jedoch ein neues fünfstelliges Bezeichnungssystem eingeführt (EN 1706). Aluminiumlegierungen werden eingeteilt in:

- Reinaluminium (z.B. EN AW-1070A / EN AW-AI 99,7)
- Naturharte Knetlegierungen (z.B. EN AW-5754 / EN AW-AI Mg3 und EN AW-5083 / EN AW-AI Mg4,5Mn0,7)
- Aushärtbare Knetlegierungen (z.B. EN AW-6063 / EN AW-AI Mg0,7Si und EN AW-7020 / EN AW-AI Zn4,5Mg1)
- Gusslegierungen (z.B. EN AC-43000 / EN AC-AI Si10Mg(a) und EN AC-51300 / EN AC-AI Mg5)

Einige Besonderheiten machen Aluminiumlegierungen zu einem heute bevorzugten Konstruktionswerkstoff.

Typische Merkmale sind die geringe Dichte (ca. 2,7 g/cm³) bei hohen erreichbaren Festigkeiten (Leichtbau), gute Witterungs- und Korrosionsbeständigkeit, sehr gute Umformbarkeit, hohe Wärmeleitfähigkeit, gute elektrische Leitfähigkeit und gute Kaltzähigkeit.

Einige dieser Eigenschaften sind zugleich aber wesentliche Hindernisse beim Schweißen. Die natürliche Oxidschicht, die sich an der Oberfläche von Teilen aus Aluminium und Aluminiumlegierungen unter dem Einfluss des Luftsauerstoffs spontan ausbildet, schützt das darunter liegende Metall gegen chemischen Angriff zahlreicher Medien. Der Schmelzpunkt von Aluminiumoxid liegt jedoch bei ca. 2050°C, also wesentlich höher als der Schmelzpunkt des reinen Metalls (660°C). Dies verhindert – vergleichbar einer zähen Membran – ein Zusammenfließen des aufgeschmolzenen Grundwerkstoffes. Deshalb muss vor oder während des Schweißens die störende Oxidschicht zerstört und beseitigt werden, dies geschieht meist durch Reinigungseffekte des Lichtbogens (WIG und MIG) oder auf chemischem Wege durch Flussmittel (Löten, Gasschweißen, Metall-Lichtbogenschweißen (E)).

Die sehr gute Wärmeleitfähigkeit, ist einer der wesentlichen Faktoren für den hohen Wärmebedarf beim Schweißen, trotz des relativ niedrigen Schmelzpunktes von Aluminium. Zusätzlich ist die Wärmebeeinflussung des Grundwerkstoffes beim Schweißen entsprechend hoch. Durch den Einfluss der Schweißwärme geht beim Schmelzschweißen eine durch Kaltverfestigen oder Aushärten erzielte Festigkeitssteigerung in der WEZ ganz oder teilweise auf die des völlig rekristallisierten (weichen) Zustandes zurück. Rekristallisationshemmende Zusätze im Grundwerkstoff (Mn, Cr) wirken einem völligen Erweichen entgegen. Diese Erweichung ist wie folgt zu berücksichtigen :

- Schweißnähte an gering beanspruchten Stellen der Konstruktion anordnen.
- Festigkeitsverlust durch örtliches Vergrößern der Werkstückdicke kompensieren.

2. Schweißverfahren

Die gebräuchlichsten Schweißverfahren sind das WIG- und MIG-Schweißen. Die Entfernung der Oxidhaut erfolgt hier durch den Reinigungseffekt im Lichtbogen. Das WIG-Schweißen wird in der Regel unter Wechselstrom, das MIG-Schweißen unter Gleichstrom mit Pluspolung durchgeführt (siehe auch Merkblatt DVS 0913). Bei diesen Verfahren werden als Schutzgase Argon bzw. Argon-Helium-Gemische verwendet. Die Vorteile von Schutzgasen mit hohen Heliumanteilen bestehen im tieferen Einbrand, schöneren Nahtausbildung, höheren Leistung und der geringeren Porenempfindlichkeit, die Nachteile sind der höhere Gaspreis und der höhere Verbrauch beim Schweißen.

Das früher übliche Gasschweißen hat an Bedeutung verloren, da hier mit speziellen, aggressiven Flussmitteln zur Beseitigung der Oxidhaut gearbeitet werden muss, deren Wirksamkeit mit zunehmenden Mg-Anteil geringer wird und deren Rückstände Korrosion verursachen können. Die Beseitigung von Flussmittelrückständen ist zudem zeitintensiv und erfordert besondere Maßnahmen zum Arbeits- und Umweltschutz. Dies gilt auch beim Lichtbogenhandschweißen mit umhüllten Stabelektroden, da deren Umhüllung aggressive Salze als Flussmittel enthält.

3. Schweißhinweise

Die Nahtvorbereitung kann in Form von Schleifen, Fräsen oder Plasmaschneiden durchgeführt werden. Schleimittel dürfen nicht kunststoffgebunden sein, die mechanische Vorbereitung wird trocken durchgeführt. Sie ist für das WIG- und MIG-Schweißen in EN ISO 9692-3 genormt. Grundsätzlich ist darauf zu achten, dass der Öffnungswinkel bei Y-Nähten 70° beträgt und dass die Stirnlängskanten wurzelseitig gebrochen werden (Gegenseite mit 0,5 mm x 45° anfasen). Üblich sind Stumpfnähte ohne Stegabstand auf Badsicherungen aus nichtrostendem CrNi-Stahl. Bei Wandstärken über 6 mm ist wegen der hohen Wärmeleitfähigkeit des Grundwerkstoffes (zumindest am Nahtanfang) mit höherem Wärmeeintrag oder einer Vorwärmtemperatur von 100 - 120°C zu arbeiten. Die Vorwärmzone und die Vorwärmzeit sollten so gering wie möglich gehalten werden, damit eine Schädigung des Grundwerkstoffes verhindert wird.

Die Erzielung einwandfreier Schweißnähte setzt größte Sauberkeit an der Schweißstelle voraus. Dazu ist der Nahtbereich gründlich zu entfetten und der direkte Hautkontakt mit dem Schweißstab bzw. -draht zu vermeiden (saubere Handschuhe).

Der hohe Wärmeausdehnungskoeffizient von Aluminiumlegierungen kann zu stärkerem Verzug der Bauteile führen. Es sind daher möglichst kleine Schweißnahtquerschnitte zu wählen. Pilgerschrittschweißung, Strichraupentechnik und Verwendung von Spannvorrichtungen wirken übermäßigem Verzug entgegen.

Eine Nachbehandlung der Schweißnähte ist im Allgemeinen nicht erforderlich.

4. Werkstoffe und Mischverbindungen

Reinaluminium wird bevorzugt OK Autrod / Tigrod 1450 (Al99,5Ti) geschweißt. Gegenüber Reinaluminium-Schweißzusätzen sorgt der Ti-Anteil für eine verbesserte Rissbeständigkeit und wirkt als Feinkornbildner.

AlSi-Schweißzusätze (S Al 4xxx) werden bevorzugt für artähnliche Si-haltige Knet- und Gusslegierungen sowie für Mischverbindungen eingesetzt. OK Autrod / Tigrod 4043 (AlSi5) kann für Legierungen mit Si \leq 7% angewendet werden, darüber OK Autrod / Tigrod 4047 (AlSi12). Bei der Verarbeitung von Aluminiumguss ist auch das Gießverfahren zu beachten. In der Regel sind Druckgussteile nicht zum Schweißen vorgesehen, die gelösten Gase führen zu starker Porenbildung. Sollen Druckgussteile geschweißt werden, sind diese entsprechend zu gestalten und zur vergießen, die Schweißseignung muss nachgewiesen werden (siehe DVS 0604).

AlMg-Legierungen: Mit zunehmendem Mg-Anteil (Mg \geq 3%) nehmen die Festigkeitswerte zu, die Korrosionsbeständigkeit jedoch ab. Deshalb sollten AlMg-Werkstoffe artgleich, d. h. mit möglichst gleichem Mg-Anteil im Schweißzusatz geschweißt werden. Dabei ist die Vermischung mit dem Grundwerkstoff zu berücksichtigen, da AlMg-Schweißgüter mit Mg $<$ 2% zur Heißrissbildung neigen können. Bei der Verarbeitung von AlMg-Werkstoffen zeigt sich neben der Naht ein dunkler Niederschlag, der aus Magnesiumoxid besteht und durch Bürsten (für Aluminium stets scharfkantige CrNi-Bürsten) entfernbar ist.

Magnesiumlegierte Werkstoffe mit Mg \geq 2% sind mit artähnlichen Schweißzusätzen vom Typ S AlMg (S Al 5xxx) zu schweißen, siliciumlegierte Sorten mit Si \geq 2% mit S AlSi (S Al 4xxx). Ein wechselseitiger Einsatz ist wegen der Versprödung durch Ausscheidung von Mg₂Si zu vermeiden.

Mischverbindungen zwischen Werkstoffen mit Mg \geq 2% und Si \geq 2% sollten bei dynamischer bzw. Stoßbelastung vermieden werden, da die sonst entstehenden Mg₂Si-Ausscheidungen zu Versprödungen führen. Sind diese Mischverbindungen unvermeidbar, wird bevorzugt OK Autrod / Tigrod 4043 eingesetzt.

5. Farbgebung nach dem Schweißen (Anodisieren)

Nach dem Anodisieren der Oberfläche werden die unterschiedlichen Gefüge oder unterschiedliche Zusammensetzungen im Nahtbereich sichtbar. Die Farbunterschiede werden auch durch die Oberflächenrauigkeit und die Schichtdicke der Anodierschicht beeinflusst. Die Schutzwirkung der Anodierschicht wird durch die Farbtonunterschiede jedoch nicht beeinträchtigt.

Bei AlSi-Schweißgut nimmt die graue bis dunkelgraue Verfärbung mit zunehmendem Si-Anteil zu.

Für das Schweißen vor dem Anodisieren haben sich AlMg-Schweißzusätze des Typs AlMg5 und AlMg3 besonders bewährt:

S Al 5754 (AlMg3):	OK Tigrod 5754	OK Autrod 5754
S Al 5356 (AlMg5Cr(A)):	OK Tigrod 5356	OK Autrod 5356 (meist verwendet)

Diese ergeben die bestmögliche Farbähnlichkeit. Um die Farbunterschiede zwischen Nahtbereich und unbeflusstem Grundwerkstoff so gering wie möglich zu halten, sollte die Bauteiloberfläche nur so fein wie nötig geschliffen oder gebürstet werden. Je rauer die Oberfläche, desto geringer ist die Lichtreflexion und der Kontrast der Farbunterschiede. Der Farbton des Schweißgutes nach dem Anodisieren ist auf den folgenden Produktdatenblättern angegeben.

Vor dem Schweißen sind Anodisierungsschichten zu entfernen.

5. Literatur

EN 1011-4:	Empfehlungen zum Schweißen metallischer Werkstoffe – Teil 4: Lichtbogenschweißen von Aluminium und Aluminiumlegierungen.
EN ISO 9692-3:	Empfehlungen für Fugenformen – Teil 3: MIG- und WIG-Schweißen von Aluminium und Aluminiumlegierungen.
DVS-Merkblatt 0604:	Voraussetzungen zur Gestaltung und Verarbeitung von schweißgeeigneten Aluminium-Druckgussteilen.
DVS-Merkblatt 0913:	MIG-Schweißen von Aluminium
DVS 0913-1:	Werkstoffspezifische Grundlagen.
DVS 0913-2:	Geräte, Prozesse, Hilfsstoffe.
DVS 0913-3:	Anwendungstechnische Hinweise.

Auswahl von Aluminium-Schweißzusätzen (nach EN 1101-4)

GW 1 \ GW 2	GW 2	AlSiMg	AlSiCu	AlZnMg	AlMgSi	AlMg5	AlMg3	AlMg (Mg<1%)	AlMn	Al
Al	M	4	4	5	4 / 5	5	4 / 5	4 / 5	4 / 5	4
	K	4	4	5	5	5	5	1	1	1
	S	4	4	5	4	5	4 / 5	4	4	4
AlMn	M	4	4	5	4 / 5	5	5	4	3 / 4	
	K	4	4	5	5	5	5	4	3	
	S	4	4	5	4	5	4	4	4	
AlMg (Mg<1%)	M	4	4	5	4 / 5	5	5	4		
	K	4	4	5	5	5	5	4		
	S	4	4	5	4	5	4	4		
AlMg3	M	4	4	5	5	5	5			
	K	4	4	5	5	5	5			
	S	4	4	5	4	5	5			
AlMg5	M	4	4	5	5	5				
	K	4	4	5	5	5				
	S	4	4	5	4	5				
AlMgSi	M	4	4	5	5 / 4					
	K	4	4	5	5					
	S	4	4	5	4					
AlZnMg	M	4	4	5						
	K	4	4	5						
	S	4	4	5						
AlSiCu	M	4	4							
	K	4	4							
	S	4	4							
AlSiMg	M	4								
	K	4								
	S	4								

M = für optimale mechanisch-technologische Eigenschaften

K = für optimale Korrosionsbeständigkeit

S = für optimale Schweißigenschaften

1 = S Al 1450 = OK Autrod / Tigrod 1450

3 = S Al 3103

4 = S Al 4043 = OK Autrod / Tigrod 4043

4 = S Al 4047 = OK Autrod / Tigrod 4047

5 = S Al 5754 = OK Autrod / Tigrod 5754

5 = S Al 5554 = OK Autrod / Tigrod 5554

5 = S Al 5356 = OK Autrod / Tigrod 5356

5 = S Al 5183 = OK Autrod / Tigrod 5183

5 = S Al 5087 = OK Autrod / Tigrod 5087

5 = S Al 5556 = OK Autrod / Tigrod 5556

für Si ≤ 7%, Vermischung beachten!

für Si > 7%, Vermischung beachten!

für Mg ≤ 3%, Vermischung beachten!

für Mg > 3%, Vermischung beachten!

für Mg > 3%, Vermischung beachten!

für Mg > 3%, Vermischung beachten!

für Mg > 3%, Vermischung beachten!

für Mg > 3%, Vermischung beachten!