

Hochfester Aluminiumwerkstoff für Leichtbau-Wärmetauscher

Der Forderung der Automobilhersteller nach Leichtbau-Materialien für leistungsstarke Wärmetauscher mit reduziertem Volumen und geringerer Masse kann mit den herkömmlichen Lotwerkstoffen nicht nachgekommen werden. Aufgrund der höheren Betriebsdrücke verlangen die Kühlerhersteller, neben einer hervorragenden Lötbarkeit, gute und reproduzierbare Bearbeitungs- und Umformeneigenschaften des angelieferten Halbzeugs sowie eine hohe mechanische Festigkeit nach dem Löten. Lotplattiertes Aluminiumblech besteht normalerweise aus einer Kernlegierung der Reihe AA3xxx oder AA6xxx und einem Lotwerkstoff aus einer wesentlich niedriger schmelzenden AA4xxx-Legierung.

Legierungen der Reihe AA2xxx und hochfeste Werkstoffe wie AA7050 oder AA7075 wurden bislang nicht als Kernwerkstoffe für Lotbleche verwendet, da ihre Solidus/Liquidus-Temperatur zu niedrig ist. Anfang der 80er Jahre wurden Long-Life-Legierungen auf Basis der Reihe AA3xxx entwickelt, um die damalige Forderung nach höherer Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit erfüllen zu können [1]. Anfang der 90er Jahre wurde ein mehrschichtiger Werkstoffverbund vorgestellt, der die mechanische Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit der Lotbleche verbessern sollte. Durch die mit Magnesium und Zink angereicherte Zwischenschicht wird aufgrund von Diffusionsvorgängen eine Erhöhung der Festigkeit der Kernlegierung 3xxx erzielt [2].

In Abb. 1 ist ein Vergleich der typischen Festigkeitseigenschaften handelsüblicher Lotwerkstoffe im Zustand vor und nach dem Löten dargestellt. Die Dehngrenzen $R_{p0,2}$ nach dem Löten liegen bei den gängigen nichtaushärtbaren 3xxx-Werkstoffen zwischen 35 und 55 MPa, während die Werte bei Long-Life-Legierungen zwischen 55 und 65 MPa liegen. Je nach Abkühlgeschwindigkeit nach dem Löten erreichen aushärtbare 6xxx-Legierungen kalt ausgelagert eine Dehngrenze $R_{p0,2}$ zwischen 70 und 85 MPa. Die mechanischen Kennwerte dieser Werkstoffe reichen oft nicht aus, um künftige Anforderungen der Automobilindustrie zu erfüllen. Dieser Artikel beruht auf der Entwicklung eines hochfesten, aushärtbaren Lotblechs mit einer AA7020-Kernlegierung [3].

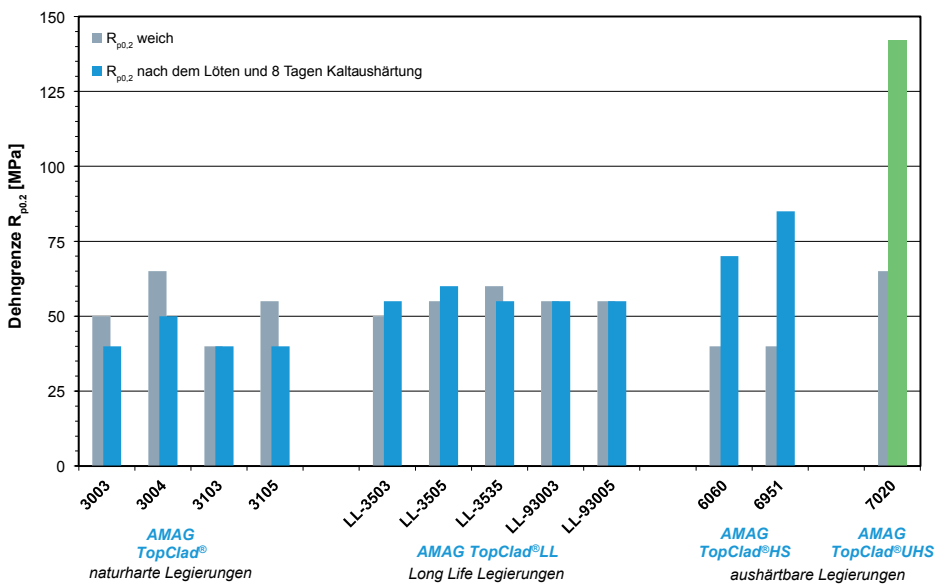


Abb. 1: Dehngrenze $R_{p0,2}$ von AMAG TopClad® Werkstoffen

Charakterisierung des Lotblechs AA7020

Die Legierung AA7020 gehört zur Gruppe der aushärtbaren Al-Legierungen und zeichnet sich durch eine hohe statische Festigkeit aus. Die Kombination von Zink und Magnesium führt zur Aushärtung und damit zu Festigkeiten, die weit über den bei herkömmlichen Lotlegierungen erreichten Werten liegen. Die Festigkeit ist im Wesentlichen von Zn und Mg abhängig, während sich der Aushärtungseffekt nach dem Zn/Mg-Verhältnis richtet. In Tabelle 1 ist die chemische Zusammensetzung von AA7020 dargestellt [4, 5]. Um eine Diffusion von Mg in den Lotwerkstoff beim Anlöten zu vermeiden, ist eine zusätzliche Plattierschutzschicht erforderlich. In diesem Artikel werden die Ergebnisse mit einer AA1050-Schutzschicht dargestellt.

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung von AA7020 und AA1050

Legierung	%Si	%Fe	%Cu	%Mn	%Mg	%Zn	%Ti
AA7020	0,35	0,40	0,20	0,05 – 0,50	1,0 – 1,4	4,0 – 5,0	0,05
AA1050	0,25	0,40	0,05	0,05	0,05	0,07	0,05

Festigkeit nach dem Löten

Die Legierung AA7020 erhält ihre Festigkeit nach dem Löten durch Lösungsglühen und Kaltauslagerung. Beim Lötvorgang findet neben dem Fügeschritt simultan auch ein Lösungsglühen bei Löttemperatur statt. Aufgrund von Keimbildung und Wachstum bilden sich während der Auslagerung bei Raumtemperatur Ausscheidungen aus dem übersättigten Mischkristall. Um optimale Festigkeitskennwerte zu erzielen, muss bei den meisten aushärtbaren Aluminiumlegierungen eine Lösungsglühung innerhalb eines relativ engen Temperaturbereichs vorgenommen werden; dies gilt jedoch nicht für AA7020.

Dieses positive Verhalten ermöglicht eine optimierte Prozessführung für sowohl das Lösungsglühen als auch das Löten in einem einzigen Aufheizvorgang. Da AA7020 eine geringe Abschreckempfindlichkeit aufweist, kann die Abkühlgeschwindigkeit nach dem Löten breit variiert werden, ohne dass die anschließende Kaltaushärtung bei Raumtemperatur beeinträchtigt wird.

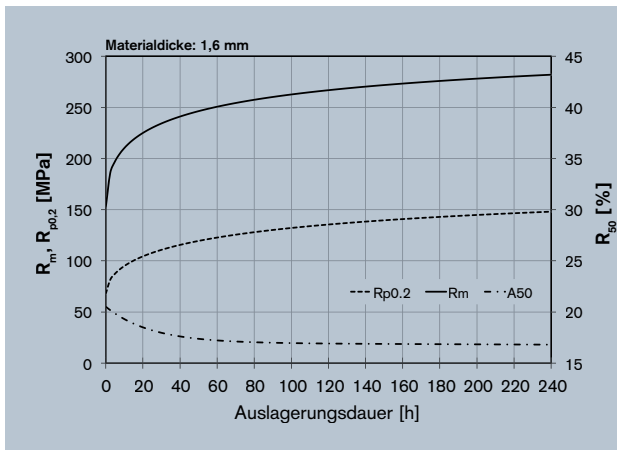


Abb. 2: Festigkeitssteigerung des AA7020-Materials durch Kaltauslagerung

Wie in Abb. 2 dargestellt, erreicht der Werkstoff AA7020 eine Dehngrenze $R_{p0,2}$ von 65 MPa im weichen Zustand, die nach dem Löten im Laufe der Auslagerung bei Raumtemperatur Werte über 140 MPa annehmen kann. Noch höhere Festigkeitswerte und eine höhere Korrosionsbeständigkeit können durch Warmauslagerung bei 115 bis 130 °C erzielt werden

Festigkeitseigenschaften bei erhöhten Temperaturen

Nach dem Löten (d. h. nach dem Lösungsglühen) werden die Wärmetauscher im Betrieb Temperaturen von bis zu 160 °C ausgesetzt. Zur Simulation der Werkstoffeigenschaften bei Betriebstemperaturen wurde nach einer Kaltauslagerungsdauer von 8 Tagen mit einer Warmauslagerung des Lotblechs A7020 begonnen. Diese Auslagerungskurven sind in Abb. 3 dargestellt. Bereits zu Beginn der Warmauslagerung fällt die Festigkeit aufgrund der Reversion ab [4, 5]. Höhere Temperaturen und längere Auslagerungszeiten führen zu einem Festigkeitsverlust durch Überalterung.

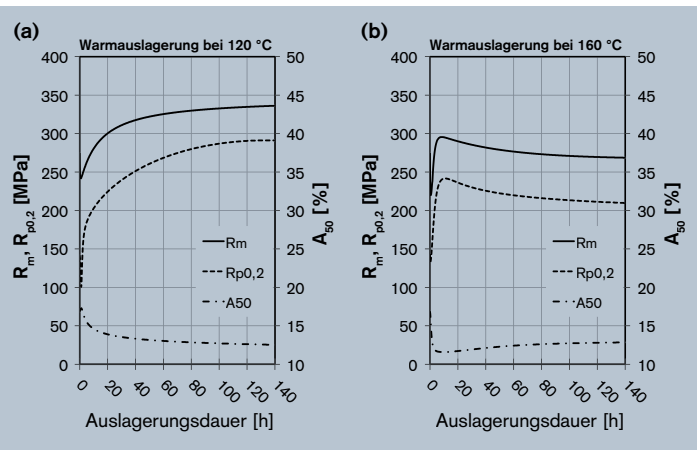


Abb. 3: Festigkeitssteigerung des AA7020-Materials (1,6 mm) durch Warmauslagerung bei (a) 120 °C und (b) 160 °C

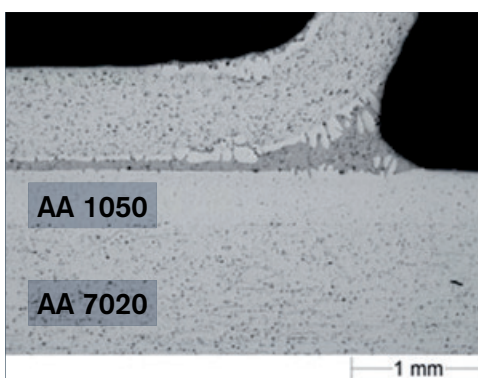


Abb. 4: Einwandfreie Lötnaht durch ausreichend dicke AA1050 Diffusionssperre

Kundennutzen von lotplattiertem Blech AA7020 für Wärmetauscher-Grundplatten

Die Legierung AA7020 weist ein einwandfreies Scher- und Stanzverhalten und eine hohe Kratzbeständigkeit auf und ist daher erste Wahl als Grundplattenmaterial. Bei Ölkühlern werden ebene Grund-

platten aus AA3xxx-, AA5xxx- oder AA6xxx-Legierungen verwendet, deren Dicke normalerweise zwischen 2,5 und 6,5 mm liegt; diese könnte durch die Verwendung eines hochfesten AA7020-Lotblechs noch deutlich verringert werden. Aufgrund der hohen Härte von ~55 HB im weichen Zustand weist der hochfeste Werkstoff eine ausgezeichnete Kratzbeständigkeit gegen Oberflächendefekte auf. Diese Eigenschaft ist besonders im Dichtbereich zwischen dem Motorblock und dem Ölkühler von Vorteil, da dieser Bereich kritisch in Bezug auf Undichtigkeiten ist (Abb. 4).

Alle gängigen AlSi-Hartlotlegierungen für Vakuum-Lötprozesse sowie für auf Flussmittel basierende Lötprozesse können aufplattiert werden, sofern die Betriebstemperatur 600 °C nicht übersteigt. Wie in Abb. 4 dargestellt, kann durch eine Diffusionssperre die Diffusion von Zn und Mg sowie das Aufschmelzen niedrig schmelzender Phasen vermieden werden. Die Korrosionsbeständigkeit von Lotblech AA7020 für Grundplatten ist ausreichend, da die über 150 µm dicke Diffusionssperre aus AA1050 auch als Korrosionsschutzschicht dient.

Literaturverzeichnis:

- [1] Gray, A.; Aluminium in automotive heat exchangers – closing the technology gap, 8th international brazing seminar, 2004.
- [2] Yamauchi, S., et al; Clad aluminum alloy material having high strength and corrosion resistance for heat exchanger, US 5292595A, 1993.
- [3] Hanco, G., et al; High strength aluminium brazing material for heat exchanger applications, ASST, 2012.
- [4] Aluminium-properties and physical metallurgy, AMS, 2005, pp. 175-185.
- [5] Aluminium handbook-fundamentals and materials, Aluminium Verlag, 1999, pp. 252-260.