

Diss. ETH Nr. 13859

Thixoforming von Aluminium-Silizium- Magnesium-Legierungen

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels
DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von

Béatrice Gerda Bieri
Dipl. Werkstoff-Ing. ETH
geboren am 20. Juli 1970
von Schangnau (BE)

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. Dr. h.c. Markus O. Speidel, Referent
Dr. Jean-Pierre Gabathuler, Korreferent
Prof. Dr. Peter J. Uggowitzer, Korreferent

2000

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit dem Thixoforming von untereutektischen Aluminium-Silizium-Magnesium-Legierungen. Das Thixoforming ist ein neues Verfahren zur Herstellung von endabmessungsnahen metallischen Bauteilen im teilfesten-teilflüssigen Zustand. Es vereinigt die Gestaltungsfreiheit und Fertigungsfreiheit von Druckgiessverfahren mit der Werkstoffqualität von Schmiedeteilen. Massgebend für eine Umformung im teilfesten-teilflüssigen Zustand ist, dass das Ausgangsmaterial thixotrope Eigenschaften aufweist. Dies wird dadurch erreicht, dass das Ausgangsmaterial eine spezielle Ausbildung der Mikrostruktur zeigt, beschrieben durch eine globulare Gestalt der festen Phase, welche ein räumliches Netzwerk bildet, eingebettet in eine tieferschmelzende zweite Phase. Teilweise aufgeschmolzen mit einem Flüssiganteil von 25% bis 60% stellen sich die thixotropen Werkstoffeigenschaften ein.

In dieser Arbeit wurde besonderes Augenmerk auf den Einfluss von ausgesuchten Prozessparametern auf die Mikrostruktur des Endteiles und dessen daraus resultierenden mechanischen Eigenschaften von untereutektischen Aluminium-Silizium-Magnesium-Legierungen gelegt. Zusätzlich wurde der Einfluss des Siliziumgehaltes in Bereich von untereutektischen Aluminium-Silizium-Magnesium-Legierungen untersucht.

Es kann gezeigt werden, dass für eine hohe Prozesssicherheit die folgenden Parameter von entscheidender Bedeutung sind: die Abkühlgeschwindigkeit, die Kolbengeschwindigkeit sowie der Flüssigphasenanteil im Ausgangsmaterial, in der vorliegenden Arbeit beschrieben durch die Aufheizenergie.

Die Abkühlungsgeschwindigkeit des teilfesten-teilflüssigen Material wird durch die Dimensionen des Bauteils beeinflusst. Neben dem Einfluss auf die Gefügeausbildung resultieren auch spezifische Giessfehler durch die Wahl entsprechender Wandstärken. Somit muss der Anwendungsbereich für hochwertige Bauteile, welche statisch und dynamisch stark belastet werden, innerhalb gewissen Grenzen gehalten werden. Die durchgeführten Untersuchungen an verschiedenen Platten mit variierenden Wandstärken zeigten, dass die Bauteile, welche eine Wandstärke zwischen 5 bis 20mm aufweisen, die hervorragenden Eigenschaften des Thixoforming-Verfahrens voll ausnützen können.

Die Kolbengeschwindigkeit und die Aufheizenergie, welche das Vormaterial in den teilfesten-teilflüssigen Zustand überführen, sind von entscheidender Bedeutung für die Gefügeausbildung bzw. das Auftreten von Gussfehlern und somit auch für die mechanischen Eigenschaften des Bauteiles. Innerhalb von

definierten Prozessfenstern können die mechanischen Eigenschaften wie Streckgrenze, Festigkeit, Härte, Bruchdehnung und Bruchzähigkeit durch die Kombination der beiden Grössen gezielt geändert werden.

Für hochwertige Bauteile muss die Prozessparameterkombination so gewählt werden, dass es bei dem Einpressen nicht zu einer Separation der beiden Phasen kommt. Es muss somit vermieden werden, dass das Netzwerk aus fester Phase zu stark ausgebildet ist, dass es durch die angelegten Spannungen nicht gebrochen werden kann und somit zu einem Auspressen der flüssigen Phase führt. Dies wiederum hätte eine Reihe von Gussfehlern zur Folge wie auch eine Verminderung der mechanischen Eigenschaften, welche von einem hohem α_{prim} -Anteil begünstigt wird.

Die chemische Zusammensetzung bzw. der Siliziumgehalt bei untereutektischen Legierungen mit gleichbleibendem Magnesiumgehalt beeinflusst nicht nur die mechanischen Werte, sondern hat auch einen grossen Einfluss auf die Giessbarkeit der Legierung. Eine massive Verbesserung der Bruchdehnung und der Bruchzähigkeit kann mit abnehmendem Siliziumgehalt gefunden werden, wobei aber gleichzeitig die Festigkeiten mit abnehmendem Siliziumgehalt reduziert werden. Dies jedoch kann mit einer entsprechenden Wärmebehandlung wettgemacht werden. Zusätzlich kann festgestellt werden, dass mit dem Reduzieren des Siliziumgehaltes der Legierung die Giessbarkeit der Legierung abnimmt. Ein Optimum an mechanischen Eigenschaften sowie auftretenden Gefügefehlern und Giessbarkeit kann bei den untersuchten Legierungen zwischen 1 bis 7 Gew.% Silizium bei der Legierung mit 5 Gew.% gefunden werden.

Abstract

Thixoforming is a new process for producing safety parts for the automotive industry. It permits the near net shape production of complex shaped components combined with a high degree of productivity and reliability. Apart from these economical advantages, components produced by Thixoforming exhibit outstanding mechanical properties.

Important for producing parts by using semi-solid technology is the usage of special raw material which combines the following properties: The microstructure of the solid phase has to be globular shaped and building up a three dimensional network. Additionally the part of the fluid phase in the semi-solid state has to be between 25 and 60%.

The results of the investigations reveal a strong influence of the process parameters, especially the influence of the cooling velocity, the reheating energy in combination with the applied piston velocity. The reheating energy represents the fluid fraction of the semi-solid raw material.

To avoid the appearance of segregations and phase separations, but also to achieve the required mechanical properties, a proper control of the process parameters is indispensable.

The cooling velocity is influence by the dimensions of the component. An optimal wall size can be defined between 5 and 20mm, so that the best combination of mechanical properties, especial dynamic properties and minimal casting defects are achieved.

For the application of Thixoforming-safety parts for the automotive industry the combination of high strength together with a high toughness and elongation is desirable. Required strength for an application in the automotive industry can be achieved with all combinations of parameters, i.e. an optimum of the elongation has to be achieved. Best results of elongation and fracture toughness, but also ultimate tensile stress are found for the combinations of high levels in piston velocities and reheating energies. These three characteristics are in a close connection with a high volume fraction of the ductile α_{prim} -phase.

The good results for the parameter combination of a relatively high reheating energy together with raised piston velocity is a result of a good homogenisation of the slurry during the injection and this way the separation of the liquid eutectic phase from the solid phase can be prevented. In the case of low piston velocities in combination with a low reheating energy the eutectic phase is squeezed out of the network of solid phase. A high reheating energy diminishes the connection between the single α_{prim} -globulites, so that even lower piston velocities guarantee a homogeneous mix of liquid and solid phase instead of a separation of the two phases.

The amount of Silicon in the alloy Al-SiX-Mg0.38 has an influence on the amount of the ductile α_{prim} -phase and on the mechanical properties as well as on the suitability for casting. The investigations have been restricted to 1 to 7% Silicon. Lowering the amount of Silicon in the alloy leads to better elongation and fracture toughness. Only the strength is reduced by the smaller amounts of Silicon. This can be compensated by applying a heat treatment after the casting. The suitability for casting is dependent on the Silicon amount and diminished by low Silicon. The best combination of mechanical properties and suitability for casting can be achieved by using the alloy AlSi5Mg0.38.