

Was sind Eigenspannungen und wie werden diese bei MRS-Qualitäten<sup>1)</sup> geprüft? Und vor allem: wie können sie abgebaut werden?

**W**as sind Eigenspannungen und wie entstehen sie  
Eigenspannungen sind mechanische Spannungen, die in einem Körper herrschen, ohne dass äußere Kräfte und Momente wirken oder Temperaturdifferenzen vorhanden sind. Diese Spannungen können in jeder Phase der Halbzeugherstellung entstehen, wobei in diesem Beitrag auf die wichtigsten Entstehungsmechanismen bei der Herstellung von Aluminiumblechen bzw. -bändern eingegangen wird.

#### Lösungsglügen und Abschrecken

Der Großteil der Eigenspannungen, die durch die vorangegangenen Arbeitsgän-

(Wasserstrahl) und durch einen ungleichen Auftreffpunkt des oberen und unteren Wasserstrahles an der Materialoberfläche auf. Hierdurch entstehen auch Temperaturunterschiede, die zwar durch die hohe Wärmeleitfähigkeit des Aluminiums teilweise kompensiert werden, aber dennoch ähnliche Abläufe bezüglich Eigenspannungen verursachen, wie oben beschrieben.

#### Eigenspannungen durch Kaltverformung

Da die plastischen Kaltverformungen nicht gleichmäßig über den Querschnitt verteilt sind, werden bei jeder Kaltverformung Eigenspannungen erzeugt. Als Beispiel dient

# Eigenspannungen

ge des Warm- und Kaltwalzens in das Band eingebracht worden sind, werden während des Lösungsglühens bei hoher Temperatur durch Relaxationsvorgänge wieder abgebaut.

Allerdings ergeben sich insbesondere beim folgenden Abschrecken mit einer hohen Abkühlgeschwindigkeit größere Temperaturunterschiede zwischen der Oberfläche und der Mitte des Bleches. Der durch die tieferen Temperaturen an der Oberfläche bewirkte Schrumpfprozess wird durch die wärmeren Zonen in der Blechmitte behindert. Dies bewirkt im ersten Schritt in der Nähe der Oberfläche Zugeigenspannungen. Diese Eigenspannungen überschreiten die Dehngrenze und werden durch plastische Verformung in der warmen Zone abgebaut. Beim folgenden Erkalten der Blechmitte wird im zweiten Schritt die damit verbundene Schrumpfung der Mitte durch die bereits kalte Oberflächenzone behindert. Folglich entstehen in der Randzone Druckeigenspannungen und in der Blechmitte Zugeigenspannungen. Wegen der im Vergleich zum warmen Zustand stark erhöhten Dehngrenze und der verminderten plastischen Verformbarkeit bleiben diese Eigenspannungen in spürbarer Ausprägung weitgehend erhalten.

Desweiteren tritt in der Praxis ein örtlich begrenztes „ungleichmäßiges“ Abschrecken des Materials unter anderem durch ein punktuell auftreffendes Wasser

hierbei ein einfacher Biegestab. Wird eine Biegebelastung aufgebracht, so entstehen an der Krümmungsinnenseite Druckspannungen, in der Mitte keine Spannungen und an der Krümmungsaußenseite Zugspannungen.

Übertreffen die randnahen Spannungen die Dehngrenze, tritt an der Oberfläche des Materials eine plastische Verformung auf. Dabei werden die Fasern an der Außenseite bleibend gestreckt und an der Innenseite verkürzt. Die Verformung in der Nähe der Blechmitte bleibt hingegen elastisch. Nach Wegnahme der äußeren Belastung hindern die gestreckten bzw. gestauchten Randzonen eine vollständige Rückverformung und somit können die elastischen Spannungen in der Nähe der Blechmitte nicht ganz abgebaut werden.

Ungleichmäßige Kaltverformung kann bei jeder Umlenkung des Blechs durch Rollen und während des Auf- bzw. Abwickelns des Coils auftreten. Zusätzlich wird das Coil nach dem Lösungsglügen noch kaltausgelagert und „merkt“ sich somit die Form des Coils. Wird das Coil nun wieder abgewickelt, müssen die Bleche noch vor dem Recken durch plastische Umformung in einen ebenen Zustand gebracht werden. Als Resultat enthält das Material zwangsläufig Eigenspannungen.



#### Verringerung der Eigenspannungen

In der Herstellung der Bleche wird insbesondere beim Prozessschritt des Lösungsglühens und Abschreckens auf Raumtemperatur darauf geachtet, dass der durch das Auftreffen der Wasserfront entstehende Bandverzug möglichst minimiert wird. Dies wird erreicht durch Steuerung der Wassermenge, der Anzahl der zur Abkühlung eingesetzten Wasserbalken und durch den Auftreffpunkt des Wasserstrahls am Band. Hierdurch kann auch die zur Beseitigung der Bandverzüge eingebrachte Kaltverformung minimiert werden, was zu einer Verringerung der eingebrachten inneren Spannungen beiträgt.

#### Beseitigung der Restspannungen durch Recken

Eine Beseitigung der asymmetrischen Eigenspannungen, die bei der spanenden Bearbeitung zu einer unerwünschten Verwerfung des Bauteils führen, ist jedoch nur durch das

Recken am Prozessende möglich. Dazu wird das Material definiert in Walzrichtung gestreckt. Die in vorangegangenen Walz- und Wärmebehandlungsprozessen entstandenen Eigenspannungen überlagern sich mit der aufgetragenen Zugbelastung. Folglich wird die Dehngrenze überschritten und die, mit den Eigenspannungen korrelierenden Eigendehnungen, werden in plastische Deformationen umgewandelt. Somit werden die Eigenspannungen homogenisiert und es stellt sich ein über die Blechdicke gleichmäßiger und symmetrischer Eigenspannungszustand ein. Zur Erhöhung der Produktionskapazität für eigenspannungsarme Bleche wurde bei AMAG ein neuer Bandrecker installiert, der speziell für Bleche bis 8 mm ausgelegt wurde (siehe Bericht auf der nächsten Seite). Innerhalb eines Werkstückes müssen folglich immer Bereiche mit Zugeigenspannungen im Gleichgewicht sein mit solchen, in denen Druckeigenspannungen vorliegen. Erreicht man aber durch einen kontrollierten Reck-

prozess, dass der Eigenspannungszustand über die Blechdicke annähernd gleich ist, wird bei einer spanenden Bearbeitung des Bleches zwar das Gleichgewicht der Eigenspannungen gestört, aber es tritt nur eine sehr geringe Verformung des bearbeiteten Werkstückes auf.

#### Messung und Bewertung der Eigenspannungen

Alle Eigenspannungen im Material können nur aufwendig und meist nur durch Zerstörung des Materials gemessen werden. In der Blechproduktion hat sich daher die Messung und Bewertung der Restspannungen durch einen praxisnahen Test, den Chemical Milling Test (Chemisches Fräsen) bewährt. Dazu wird eine Probe mit genormten Abmessungen aus dem Blech entnommen und die Längswölbung dieser Probe an beiden Stirnseiten gemessen. Anschließend wird das Blech durch chemischen Abtrag 50 % in der Blechdicke

reduziert. Die Änderung in der Längswölbung nach dem chemischen Abtrag der Probe ist dabei ein Maß dafür, wie groß die Restspannungen im Material sind. Mechanisches Fräsen zur Dickenreduzierung ist hier nicht möglich, weil dadurch der Eigenspannungszustand beeinflusst wird.

In Abbildung 1 ist dargestellt, wie sich kontrolliertes Recken auf die Verwerfung der Probe nach 50 % Dickenabtrag auswirkt. Während die Probe aus dem ungereckten Blech nach diesem chemischen Fräsen eine Verwerfung von ca. 10 mm aufweist, bewirkt ein kontrolliertes Recken in Walzrichtung unabhängig vom aktuell gewählten Reckgrad im Bereich zwischen 1,0 und 3,0 % eine nur marginale Verwerfung der Probe und ist daher als restspannungsarm einzustufen. Bei gereckten Qualitäten ist dabei die maximal erlaubte Verwerfung der Probe nach dem chemischen Fräsen in den entsprechenden Lieferspezifikationen definiert. ■

Abb. 1: Differenz in der Längswölbung der Probe VOR und NACH dem chemisch Fräsen

