

Thixoforming of steel and aluminium

Thixoforming, that is the shape forming of metals in a semi-solid state, allows the production, close to the final measurements, of highly resilient components with complex geometry, in just a single formative phase. While the thixoforming of aluminium has to withstand competition from ever-improving casting procedures, the fundamentally newer thixoforming of steel offers considerable potential advantages in comparison to forging. However, there are demanding technical challenges to be overcome before production can commence.

Thixoforming von Stahl und Aluminium

Univ.-Prof. Dr. Gerhard Hirt und
Dipl.-Ing. René Baadjou, Aachen

Das Thixoforming, d.h. die Formgebung von Metallen im teilflüssigen Zustand, ermöglicht die endabmessungsnah Herstellung hochbelastbarer Bauteile mit komplexer Geometrie in nur einem Formgebungsschritt. Während das Thixoforming von Aluminium im Wettbewerb mit Gießverfahren bestehen muss, bietet das wesentlich jüngere Thixoforming



Bild 1: Türrahmenknoten der SAG Thixalloy Components GmbH & Co. KG (AlSi7Mg).

von Stahl erhebliche Potenziale im Vergleich zum Schmieden. Jedoch sind bis zur Serienreife noch anspruchsvolle technische Herausforderungen zu überwinden.

Einführung

Die Grundlagen der Formgebung im teilerstarrten Zustand wurden gegen Ende der 1970-er Jahre mit den Arbeiten von Flemings am MIT in Massachusetts (USA) gelegt. Schon früh zeigten die Firmen Alুমax und ITT-Teves mit Bauteilen wie Fahrwerkskomponenten, Bremszylindern, Felgen etc., dass durch Thixoforming von Aluminium in einem Formgebungsschritt komplex geformte Bauteile endabmessungsnah hergestellt werden können. Dabei wird das besondere Fließverhalten einer Suspension aus feinsten

globularen festen Gefügebestandteilen in flüssiger Metallschmelze ausgenutzt. Neue Erwärmungstechnologien und echtzeitgeregelte Druckgießmaschinen legten die Basis für eine grundsätzlich geeignete Maschinenteknik. Dies führte auch in Europa zu intensiven Entwicklungen und zu verschiedenen anspruchsvollen Serienanwendungen in den Bereichen Fahrwerk (z. B. Porsche, Daimler-Chrysler, Alfa Romeo) und Karosserie (z. B. Audi, Fiat, Daimler-Chrysler), die allerdings im zunehmenden Wettbewerb mit den schnell besser werdenden Gießverfahren zum

Teil wieder eingestellt wurden. Eine Ursache, nämlich der Kostennachteil durch spezielles Vormaterial, konnte durch die Einführung neuer Rheogießverfahren vermindert werden.

Verfahrenspotenziale

Die weltweit intensiven Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet des Thixoformings in Industrie und Wissenschaft werden getrieben durch die erheblichen technologischen und wirtschaftlichen Potenziale, die diese innovative Technologie grundsätzlich bietet:



Bild 2: Diverse Musterteile aus dem SFB289 und weiteren Forschungszentren (verschiedene Stahlegierungen).

- Im Vergleich zu konventionellen Gießverfahren sind durch laminare Formfüllung und geringere Erstarrungsporosität ein erweiterter Gestaltungsspielraum und bessere mechanische Eigenschaften realisierbar. Größere Wanddickenübergänge können im Thixogießen besser als im Druckgießen realisiert werden. Außerdem wird durch minimale Gasaufnahme ein schweißbares Gefüge auch bei filigranen Aluminiumbauteilen erreicht, das u. a.

wirtschaftlich denkbar, wenn durch erhöhte Formkomplexität oder Herstellung eines Werkstoffverbundes die Funktionalität des Bauteils erheblich gesteigert und ansonsten erforderliche Nachbearbeitung oder Fügeoperationen entfallen können.

Thixforming im Wettbewerb

Beim Thixforming von Aluminiumlegierungen wurde eine weitere Verbreitung von Serienanwendungen bislang durch die zu-

eines eng begrenzten Produktspektrums angewendet, bei dem die o. a. Vorteile maßgebliche Kriterien gegenüber alternativen Lösungen sind (Bild 1).

Beim Thixforming von Stählen sieht die Wettbewerbssituation mit konventionellen Fertigungsverfahren grundsätzlich anders aus, da es keine kostengünstigen Dauerformgießverfahren für Stähle gibt. Dies wird heute insbesondere durch die hohe thermische Belastung der Formen und der ggf. erforderlichen Einpressaggregate verhindert. Thixforming benötigt gegenüber konventionellen Gießverfahren eine erheblich reduzierte Verarbeitungstemperatur und einen wesentlich geringeren Anteil an abzuführender Schmelzwärme. Das bedeutet, dass es dadurch erstmalig möglich werden könnte, unter Ausnutzung der hohen Fließfähigkeit teilerstarrter Stähle sehr filigrane Stahlbauteile in Dauerformen herzustellen. Die zum Teil geometrisch ebenfalls sehr komplexen Schmiedeteile sind demgegenüber immer durch eher niedrige Verhältnisse von Fließweg zu Wanddicke und durch mehrstufige Umformung sowie durch erheblich mehr spanabhebende Nachbearbeitung gekennzeichnet. Diesen Verfahrenspotenzialen des Thixformings von Stählen stehen allerdings noch sehr anspruchsvolle technische Herausforderungen gegenüber.

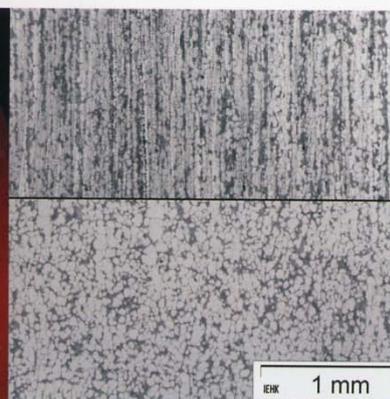
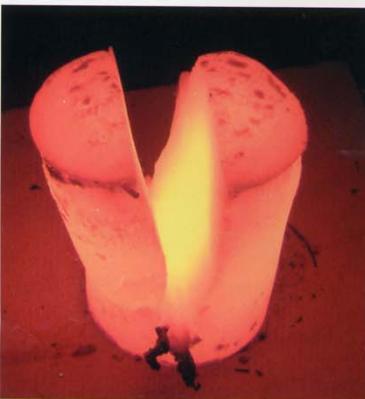


Bild 3: Geschnittener Stahlbolzen aus X210CrW12, zeilliges (rechts oben) und gewünschtes Gefüge (rechts unten) nach angepasster Erwärmung.

ein wesentliches Argument für Serienanwendungen des Thixgießens von Aluminiumlegierungen für die Fahrzeugindustrie ist. Die niedrigere Temperatur des teilerstarrten Metalls trägt darüber hinaus zu einer Erhöhung der Werkzeugstandzeit gegenüber Gießkokillen bei.

mindest im Vergleich zum Druckgießen hohen Investitionskosten (Erwärmungsanlagen), das teurere Vormaterial, erhöhte Ausschussraten infolge des engen Prozessfensters und der geringen Serienerfahrung sowie durch deutliche Qualitätsverbesserungen bei kostengünstigen konventionellen Gießverfahren verhindert. Dementsprechend wird das Thixforming von Aluminiumlegierungen heute nur von erfahrenen Firmen (z. B. SAG Thixalloy, STAMPAL) zur Herstellung

Thixforming von Stählen

Die Entwicklungen zum Thixforming höherschmelzender Eisenbasiswerkstoffe befinden sich noch in einem vergleichsweise jungen Stadium, auch wenn es bereits aus den frühen 1980-er Jahren Arbeiten vom MIT, von Alumax und der Universität Sheffield gibt. Diese standen allerdings angesichts der erheblichen technologischen Schwierigkeiten zunächst zugunsten der Untersuchung des

- Im Vergleich zum Schmieden bietet Thixforming als Vorteile sehr viel geringere Formgebungskräfte und die Möglichkeit zur Herstellung komplexer, so nicht schmiegbarer Geometrien mit minimaler mechanischer Nachbearbeitung. Jedoch sind die für Schmiedeverfahren üblichen Al-Knetlegierungen nicht zuletzt wegen ihrer Heißrissempfindlichkeit nur eingeschränkt thixformbar, sodass die ausgezeichneten mechanischen Eigenschaften geschmiedeter Bauteile durch Thixforming bislang nicht ganz erreicht werden können. Da außerdem die Taktzeiten beim Schmieden sehr viel kürzer sind, ist die Substitution eines Al-Schmiedebauteils durch Thixforming in der Regel nur dann



Bild 4: Thixogegossenes Messer und Impeller (Werkstoff X210CrW12).

Thixoformings von Leichtmetallen nicht im Mittelpunkt des allgemeinen Interesses. Erst Mitte der 1990-er Jahre wurde das Thixoforming von Stahl, nicht zuletzt initiiert durch Projekte aus Aachen, insbesondere in Japan und Europa in verschiedenen Verbundprojekten aufgegriffen. Dabei konnte die Machbarkeit des Thixoformings höher-schmelzender Werkstoffe grundsätzlich nachgewiesen werden, wie die in Bild 2 dargestellten Musterteile zeigen. Insbesondere das hohe Temperaturniveau, die Oxidationsneigung und die je nach Werkstoff komplexeren Mechanismen der Gefügebildung im teilerstarten Zustand sind offene Fragen, deren wissenschaftliche Grundlagen u. a. in dem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft von 1996 bis 2007 geförderten Sonderforschungsbereich 289 „Formgebung metallischer Werkstoffe im teilerstarten Zustand und deren Eigenschaften“ intensiv untersucht wurden.

Bereitstellung des teilflüssigen Vormaterials

Die bisherigen Untersuchungen zeigen, dass z. B. die Werkstoffe X210CrW12, 100Cr6, HS 6-5-3 ausgehend von der konventionellen Fertigungsroute durch geeignete induktive Erwärmung in den geforderten teilflüssigen Zustand überführt werden können, in dem der Bolzen mit einem Messer von Hand geschnitten werden kann (Bild 3). Dabei kommt einer an die Entwicklung des Gefüges (im Bild 3 am Beispiel des Werkstoffs X210CrW12) angepassten Erwärmungsstrategie erhebliche Bedeutung zu [1]. Daneben stellt die Forderung einer reproduzierbaren und im Bolzenvolumen homogenen Erwärmung (z. B. bei X210CrW12: 1.290 °C +/- 10 °C) erhebliche Anforderungen an die Mess- und Regelkonzepte. Außerdem muss durch geeignete Schutzgasbeaufschlagung bei der Erwärmung und beim Transport die Oxidation bestmöglich verhindert werden. Diese Forderungen werden für die o. a. Werkstoffe mit induktiver Erwärmung zumindest unter Laborbedingungen recht gut erreicht [2]. Demgegenüber wurde die bei Aluminium industriell bestehende Alternative des Rheogießens, bei dem Schmelze gezielt in den teilerstarten Bereich abgekühlt und dann umgeformt wird, bei Stählen bislang nur in Grundversuchen mit positivem Gefügeergebnis untersucht [3].

Formgebung von teilflüssigen Stählen

Zur Formgebung der teilerstarten Stahlbolzen wurden im SFB289 das Thixogießen auf Druckgießmaschinen (Bild 4) und das Thixoschmieden (Bild 5) sowie das Thixostrangpressen untersucht. Die dargestellten Musterteile stellen die Formgebungsmöglichkeiten unter Beweis. Weitere grundlegende Arbeiten sind jedoch noch erforderlich, um die Werkzeugstandzeit zu erhöhen



Bild 5: Thixogeschmiedetes Pumpengehäuse aus 100Cr6, Thixojoining-Demonstrator aus X210CrW12 mit diversen gefügten Metallen. Bilder: IBF RWTH Aachen

und Segregationen fester und flüssiger Phasen, sowie Einschlüsse von Oxiden sicher zu vermeiden. Hierzu wurden im SFB289 Softwaremodelle für die Simulation des Stoffflusses beim Thixoforming entwickelt. Diese Modelle bilden, sofern erforderlich, nicht nur das von der Zeit und Scherrate abhängige Fließverhalten ab, sondern berücksichtigen bei zweiphasiger Modellierung auch die Koexistenz fester und flüssiger Phasen [4]. Damit wird es möglich, das Auftreten von Segregationen besser zu verstehen und die Prozessführung anzupassen.

Thixojoining:

Neue Möglichkeiten für Verbundbauteile

Die hohe Fließfähigkeit teilflüssiger Stähle und ihr im Vergleich zum Gießen geringer Wärmeinhalt bieten neue Möglichkeiten zur Herstellung von Werkstoffverbundbauteilen. So zeigt Bild 5 rechts ein Fügebauteil, bei dem ein Grundkörper aus ursprünglich teilflüssigem X210CrW12 mit einer Einlegehülse aus einer Kupferbasislegierung und einem Stift aus nichtrostendem Stahl im Zuge der Formgebung verbunden wurde, ohne dass der niedrigere schmelzende Werkstoff aufgeschmolzen ist [1].

Ergebnistransfer in die Industrie

Die Idee des Thixojoinings und weitere erfolgversprechende Technologien aus den Arbeiten des SFB 289 werden seit Juli 2007 in einem Transferbereich in Zusammenarbeit mit Industriefirmen in folgenden Teilprojekten weiter untersucht:

- T01 – Erhöhung der Standzeit bei der Formgebung durch neuartige PVD-Beschichtungen.
- T02 – Druckgießen hochfester Steckschlüssel und Handwerkzeuge aus Stahl im teilflüssigen Zustand.
- T03 – Herstellung funktionsintegrierender Bauteile durch Thixojoining und deren Eigenschaften. Im Fall eines erfolgreichen Projektverlaufes werden mit diesen Projekten die im SFB289 entwickelten Konzepte zur Erhöhung der Werkzeugstandzeiten einem breiten Anwendungsbereich zugänglich gemacht und wesentliche Schritte in Richtung des Thixoformings von Stählen unternommen.

Literaturverzeichnis:

- [1] R. Baadjou, H. Shimahara, G. Hirt: Solid State Phenomena, Volumes 116-1172 (2006), S. 383-386.
- [2] F. Kütke, A. Schönbohm, D. Abel, R. Kopp: Steel Research Int, Vol 75 (2004), 8/9, S. 601-606.
- [3] G. Hirt, H. Shimahara, I. Seidl, F. Kütke, D. Abel, A. Schönbohm: CIRP, Vol. 54/1 (2005), S. 257-260.
- [4] M. Modigell, L. Pape, M. Hufschmidt: CIT (77), 8/05, 1065/1066, 2005.
- [5] D. Koesling, Ch. Tinius, R. Cremer, G. Hirt, U. Morjan, B. Nohn, Th. Wittstamm, Th. Witulski: Forschungsbericht P322, ISBN 3-930621-92-4, Verlag und Vertriebsgesellschaft mbH, Düsseldorf (1999).
- [6] M. Tsuchiya, H. Ueno, I. Takagi: JSAE Review 24 (2003), S. 205-214.

Vom 16. bis 18.09.08 findet in Aachen die zehnte „International Conference on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites“ statt. Mit etwa 180 Beiträgen aus Wissenschaft und Industrie bietet die Tagung neueste Ergebnisse zum Thixoforming von Leichtmetallen und höher schmelzenden Werkstoffen und ermöglicht einen umfassenden Überblick über den weltweiten Stand in Forschung und Anwendung.

Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für Ihre finanzielle Unterstützung.



Univ.-Prof. Dr. Gerhard Hirt Dipl.-Ing. René Baadjou