



FOTO: PRIVAT

Fachpublikum auf dem Ledebur-Kolloquium 2018. Mehr als 250 Teilnehmer hatte die renommierte Veranstaltung in diesem Jahr.

28. Ledebur-Kolloquium in Freiberg

VON CLAUDIA DOMMASCHK, FREIBERG

Das 28. Ledebur-Kolloquium am 25. und 26. Oktober war erneut ein voller Erfolg und lockte mehr als 250 Gäste nach Freiberg. Prof. Gotthard Wolf stellte zu Beginn des Fachprogramms die wichtigsten Neuigkeiten des Institutes vor und erläuterte die erweiterten Studienmöglichkeiten auf dem Gebiet der Gießereitechnik. Neben dem klassischen Diplomabschluss und dem gleichrangigen Bachelor-/Master-Modell wird nun auch gemeinsam mit den Instituten für Stahltechnologie und Metallformung ein englischsprachiger Masterstudiengang angeboten, der die Wahl einer Vertiefungsrichtung Gießereitechnik ermöglicht. Damit wird der immer stärkeren Internationalität dieses Berufsfeldes Rechnung getragen.

Mit einem neuen Rasterelektronenmikroskop (REM) mit EDX-Analysator hat das Gießerei-Institut seit einiger Zeit in Lehre und Forschung sowohl in der Werkstoffentwicklung als auch bei der Formstoffforschung ein neues Kapitel aufgeschlagen. Das REM hat eine Besonderheit: Es ist für biologische Proben ausgelegt, arbeitet also mit deutlich geringerem Va-

kuum als andere. Das Institut kann dies nutzen, um z. B. auch bentonitgebundene Formstoffe ohne Trocknungsdefekte zu untersuchen, was bisher nicht möglich war.

Die feierliche Verabschiedung der Gießereiabsolventen und Doktoranden des vergangenen Jahres im Rahmen des Ledebur-Kolloquiums ist zu einer schönen Tradition geworden. Von den insgesamt zwölf Absolventen des Bachelor- bzw. Diplomstudiengangs war ein Großteil anwesend und wurden vom Institutsdirektor Professor Wolf in das Berufsleben verabschiedet. Aus den Reihen der Absolventen konnten zwei junge Damen für ihre sehr guten Studienleistungen mit dem Stölzel- bzw. Laemppepreis ausgezeichnet werden. Außerdem wurde aus dem „Stiftungsfonds Ursula und Prof. Dr. Wolf-Dieter Schneider“ erstmals ein Flemming-Stipendium für einen wissenschaftlichen Auslandsaufenthalt an einen Studenten vergeben (Bild 1).

In diesem Jahr wurde Dr. Wolfgang Knothe zum Ehrengießer ernannt (Bild 2). Dr. Knothe hat am Gießerei-Institut in Freiberg studiert und promoviert und ist seit vielen Jahren als Leiter Entwicklung Eisenguss bei FrankenGuss in Kitzingen und der SachsenGuss



GmbH in Chemnitz tätig. Das Gießerei-Institut in Freiberg und Dr. Knothe verbindet ein langjähriger wissenschaftlicher Austausch.

Breit gefächert war das Vortragsprogramm. Dabei wurde über aktuelle Aspekte der Gießereibranche berichtet und die Pausen zu angeregten Diskussionen genutzt. Im Folgenden werden einige der Fachvorträge in Kurzform veröffentlicht:

Gefügeausbildung und Eigenschaftsprofil von dünnwandigem Stahlguss

Gotthard Wolf, Claudia Dommaschk, Steven Krumm und Leonie Brunke, Gießerei-Institut der TU Bergakademie Freiberg

Der Einsatz von hochfesten Stählen in der Rohbaukarosse hat in den letzten Jahren erheblich zu Leichtbaukonstruktionen von Pkw beigetragen. Aufgrund ihrer guten mechanischen Eigenschaften bei gleichzeitig hoher Festigkeit ermöglichten die neuen Stahlsorten konstruktive Verbesserungen vor allem am Chassis und an dynamisch belasteten Fahrwerkskomponenten.

Es bestehen kaum Zweifel, dass für konventionelle Großserienfahrzeuge für die nächsten zwei Jahrzehnte die Karosserien überwiegend von hoch- und ultrahochfesten Stählen maßgeblich geprägt werden.

Zur Gewichtsminimierung bzw. zur Verbesserung des Crash-Verhaltens werden dabei immer komplexere Strukturbauteile benötigt.

Konstruktive Spitzenleistungen sind hierfür heute überwiegend aus Aluminiumdruckguss realisiert

worden und stellen sowohl konstruktiv als auch bezüglich des Verformungsverhaltens den Stand der Technik dar. Ein besonderes Problem stellt jedoch die kostengünstige Verbindung zwischen Stahlstruktur und Aluminiumstrukturbauteil dar.

Hieraus entwickelte sich die Idee, komplexe Strukturbauteile aus dünnwandigem Stahlguss herzustellen, die durch eine schweißtechnische Verbindung in die Karosseriestruktur integriert werden können.

Diese komplexen, dünnwandigen Stahlgussbauteile stehen selbstverständlich im Wettbewerb zu geschweißten oder genieteten Stahlblechumformteilen oder auch zu den o. g. Druckgussstrukturbauteilen.

Stellt schon die gießtechnische Realisierung von dünnwandigen Stahlgussstrukturbauteilen eine erhebliche Herausforderung dar, ergeben sich durch eine Wärmebehandlung und das anschließende Richten der Bauteile weitere wirtschaftliche Herausforderungen im Werkstoff- und Verfahrenswettbewerb.

Somit stellte sich die Frage, inwieweit bei dünnwandigen Strukturen auf eine nachfolgende Wärmebehandlung und damit auf ein notwendiges Richten des Bauteils verzichtet werden kann.

Hierzu wurden dünne Flachzugproben gegossen und mit und ohne Gusschicht hinsichtlich Streckgrenze, Zugfestigkeit und Bruchdehnung untersucht.

Es konnte nachgewiesen werden, dass bei der zügigen Erstarrung von dünnwandigem Stahlguss die Forderungen der Konstrukteure bezüglich der Streckgrenze als auch der Bruchdehnung im Gusszustand erreicht werden können. Die Bruchdehnungen liegen

Bild 1: Absolventenverabschiedung im Rahmen des Fachprogramms. Zwei Absolventinnen wurden für ihre sehr guten Studienleistungen mit dem Stölzel- bzw. Laemppepreis ausgezeichnet.

Bild 2: Ehrengießer Dr. Wolfgang Knothe (l.) mit Institutsdirektor Prof. Gottfried Wolf



ohne Wärmebehandlung nicht auf Spitzenniveau, erfüllen aber sicher die Anforderungen an das Bauteil.

Somit sind dünnwandige Strukturbauteile aus Stahlguss durch Wegfall der üblichen Wärmebehandlung und des aufwendigen Richtens trotz höherem Aufwand im Gießprozess eine wettbewerbsfähige Alternative.

ECO-FORM - ein Konzept für Handguss in kleinen Serien

Jens Müller-Späth, GUT Gießerei Umwelt Technik GmbH, Freudenberg

Handgeformter Sandguss erlaubt eine Gestaltungsvielfalt und -freiheit wie sie kaum ein anderes Fertigungsverfahren bieten kann. Ganz unterschiedliche Geometrien, Größenklassen und Werkstoffe werden eingesetzt und die Gießereien stellen beeindruckende Produkte her, die in den unterschiedlichsten Industriezweigen eingesetzt werden; die Gewichtsklassen der Gusstücke reichen hier von wenigen kg bis zu weit über 100 t.

Dabei werden die rieselfähigen Gießereiformstoffe – größtenteils Quarzsand – in der Regel mit Kaltharzen gebunden, die dem Formstoff in Durchlaufwirbelmischern zugegeben werden. Der gemischte Formstoff wird auf das mit Metallkästen abgegrenzte Modell gegeben, ggf. von Hand oder maschinenunterstützt verdichtet und es entsteht nach der Aushärtung des Sand-/Bindergemischs eine Form, bzw. Formhälfte, die dann im ausgehärteten Zustand z. B. per Hallenkran manipulierbar ist.

Die Gießereiformkästen und der Formstoff selbst haben unterschiedliche Funktionen und Aufgaben zu erfüllen. Während die Formkästen über geeigne-

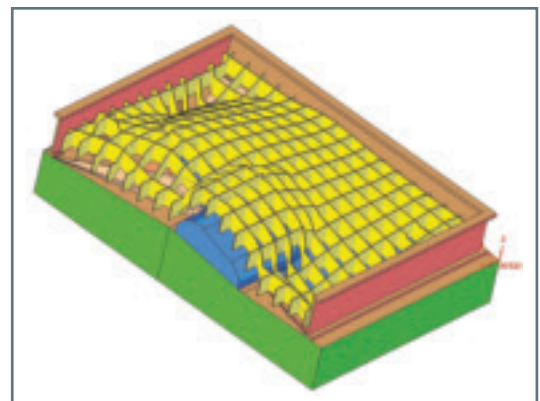
te Lastanschlagmittel verfügen, verhindern sie, dass der Formsand im plastischen Zustand aus der Form ausläuft (Kästen sind also „Formstoffbegrenzer“) und haben auch Stabilitätsfunktionen zu erfüllen. Dies gilt insbesondere dort, wo Gusswerkstoffe beim Erstarren zusätzliche Kräfte, bzw. Druck erzeugen (Gusseisen mit Kugelgrafit).

Die Menge der eingesetzten Formstoffe hängt wesentlich von der Größe des verwendeten Formkastens ab. Weil für jede Gussform eine bestimmte Sandschicht zwischen Metall und Formkasten benötigt wird, die die Gussteilerstarrung thermisch „aushalten“ muss, damit die Form nicht ausläuft, wird der Formkasten eher zu groß als zu klein ausgewählt.

Der Formkastenpark einer jeden Gießerei ist endlich und ob der Produktvielfalt steht nur sehr selten der optimale Kasten zur Verfügung.

Das Verhältnis von Sand zu Guss bestimmt nicht unwesentlich die Herstellkosten eines Gussteils. In diesem Zusammenhang sind nicht nur Sand- und Binderkosten zu sehen, sondern weitaus mehr. Die notwendige Abkühlzeit des Metalls in der Form de-

Bild 3: ECO-FORM Turbinenschaufel.



finiert die Belegung der Produktionsflächen wesentlich mit und wenn es gelingt, Kühlzeiten zu verkürzen, wird Potenzial für Produktionssteigerung geschaffen.

Ein weiteres Thema im Zusammenhang mit der Formstoffverwendung ist sein nicht unwesentliches Gewicht, insbesondere bei großen Bauteilen. Am Beispiel einer Nabe für eine Windkraftanlage wird deutlich, dass aufgrund der Produktgeometrie bei konventioneller Formtechnik ein sehr ungünstiges Sand-/Guss-Verhältnis entsteht. Für ein Netto-Gussgewicht von 10 t werden oft 100 t Sand oder sogar mehr benötigt. Das kann Krane schnell aus- oder gar überlasten und daher sind Gewichtseinsparungen in diesem Kontext sehr willkommen.

Die Windkraftnabe ist ein ideales Beispiel für das ECO-FORM-Konzept, weil das Gussteil oft in Serien vorkommt und groß ist.

Die im Vortrag beschriebene ECO-FORM-Technologie zeichnet sich durch die Verwendung spezieller, an die Modellkontur angepasste, durch Schorenrigitter stabilisierte Spezialformkästen, aus. Die Schoren werden dabei individuell so gestaltet, dass sie nah am Teil positioniert werden und so auch noch die Funktion des Wärmetransports übernehmen (Bild 3).

Dadurch wird es u. a. möglich, Formen nicht mehr komplett bis zum Formkastenrand zu füllen, sondern die Formstoffschicht nur wie eine Schale innerhalb des Schorenrigitters im Kasten aufzufüllen. Es entsteht eine neue technische Variable – nämlich unterschiedliche Formstoffstärken gepaart mit einem angepassten Schorenrigitter an unterschiedlichen Gussteilpartien, die dem Technologen erlauben, auf Kühlkokillen oder ähnliches zu verzichten (Bild 4).

Dadurch wird die eingesetzte Formstoffmenge signifikant reduziert (Bild 5), mit vielen positiven Auswirkungen wie zum Beispiel:

- > geringere Formstoff- und Binderkosten
- > Entfall von Kühl- und Armiereisen
- > verkürzte Abkühlzeiten in der Form
- > geringere Eigenspannungen im Gussteil
- > geringes Formgewicht

Im Vortrag wurden mit einem Verschleißteil aus dem Mining-Bereich, einer Windkraftnabe und einem Fahrzeugstrukturteil erfolgreiche ECO-FORM-Projekte vorgestellt und es wurde auf die Besonderheiten im Formherstellungsprozess und die Auswirkungen auf die Formstoffwirtschaft eingegangen.

Historische und aktuelle Aspekte des Glockengusses

Hanns Martin Rincker, Glocken- und Kunstgießerei Rincker, Sinn

Glocken sind gegossene Musikinstrumente. Seit Jahrhunderten bereits werden sie in einem Verfahren hergestellt, das der Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie (BDG) als „BDG-Richtlinie F1“ unter „Das traditionelle Lehmformverfahren zum Herstellen von Läuteglocken“ kürzlich beschrieben hat. Damit sollen Mindeststandards zur Herstellung der



Bild 4: ECO-FORM rund geformt.

musikalisch bestmöglichen Glocke für die Zukunft gesichert werden. Aktuell bemühen sich Gremien aus deutschen Glockenwissenschaftlern, die Werte der Herstellung, des Läutens und der Pflege der mitteleuropäischen Läuteglocke als UNESCO-Weltkulturerbe zu sichern. Dies kann grundsätzlich der Glocke im begonnenen Überlebenskampf gegen modernistische Tendenzen helfen. Ob es dem guten Glockengießer hilft, damit seine Existenz längerfristig zu sichern, bleibt vorerst ungeklärt. Es sind, neben dem letzten schweizerischen Glockengießer, sowie – nicht konkurrenzfähigen – aus Spanien und Italien, ausschließlich die deutschen Glockengießer, die in diesem tradierten Verfahren noch heute ihre Läuteglocken herstellen – zur Erklärung: Läuteglocken sind pendelnd schwingend aufgehängte Glocken, die stets an einem Joch fixiert sind und mit einem innen ebenfalls als Pendel mitschwingenden Klöppel aus Stahl ausgestattet sind. Physikalisch gesehen ist Glocke und Klöppel ein „Doppelpendel“. Die Herstellung anderer Glockentypen, z. B. Uhrschlagglocken, Glockenspielglocken, etc. soll hier nicht beschrieben werden.

Es wurden in den vergangenen Jahrzehnten viele Versuche gestartet, dieses teure, aufwendige und nur mit Erfahrung zu meisternde Formverfahren mit senkrecht gelagerter Drehschablone durch günstigere zu ersetzen. Bisher sind durchweg alle Versuche gescheitert. Sowohl die „aus dem Vollen“ auf CNC-Maschinen ausgedrehten Glocken, als auch die in anderen Form- und sonstigen Herstellungsverfahren entwickelten, haben sich musikalisch nicht bewährt. Es wurden Versuche mit Glocken aus verschiedenen Sandmischungen gefahren: mit Zementsand, mit furanharzgebundenen sowie wasserglasgebundenen Sanden. Seit einiger Zeit wirbt der letzte verbliebene Gießer in Österreich mit dem „Qualitätsorientierten Lehmformverfahren“, was aber ebenfalls, bis auf eine dünne Sonderschicht, ausschließlich aus Sandschichten besteht und somit unlauter als Lehmformverfahren beworben wird. Weitere Verfahren wurden überall entwickelt, aber nicht eines hat bis heute tatsächlich nachweislich zu einem Ergebnis geführt, das man objektiv als musikalisch gleich gut bezeichnen kann. Somit bleibt tatsächlich das uralte Her-



Bild 5: ECO-FORM abgegossen.

stellungsverfahren, das weltweit die verbliebenen deutschen Glockengießer fast einzig geschlossen weiterverwenden, das einzige Verfahren das musikalisch befriedigt. Übrigens auch optisch einzigartig, da Verzierungen auf den Glocken in fast jeglicher Art mitgegossen werden können, was im Sandgießverfahren technisch so längst nicht gelingt. Da es also bisher keine Verbesserungen, sondern nur Verbilligungen des Formverfahrens für das Musikinstrument Glocke gibt, haben es sich die deutschen Gießer vorgenommen, dieses Verfahren, so lange es möglich ist, beizubehalten. International gibt es damit kaum Chancen auf den durchaus lukrativen Märkten christlich geprägter Länder und Regionen in Asien und Südamerika zu konkurrieren. Die Kunden in diesen Ländern allerdings, die die deutschen Glocken kennengelernt haben, schätzen sie sehr und empfehlen in aller Regel dieses – für solche Länder sehr teure – deutsche Produkt erfahrungsgemäß sehr gerne weiter.

Zur Pariser Weltausstellung 1855 hat der „Bochumer Verein für Gussstahlerzeugung“ die erste in Stahl gegossene Glocke vorgestellt. Sie erregte viel Aufsehen, da man hoffte, wenn sie klanglich und musikalisch noch verbessert wird, nach Jahrtausenden in Bronze gegossener Glocken nun endlich ein anderes, noch dazu wesentlich billigeres Material gefunden zu haben. Es entstand aber, wie so oft in der Musik, eher ein Glaubenskrieg um die Musik und um die Vorteile des jeweiligen Verfahrens. Auch die viel billigeren Eisenhartgussglocken, sie gab es natürlich vereinzelt schon lange vor den ersten Stahl-

glocken, wurden nun hoffähig. Für das Musikinstrument Glocke ist Eisen aber sogar noch ungeeigneter, da dieses ja als schalldämpfend bekannt ist (Maschinenbetten, etc. werden bis heute daraus gegossen). Sogenannte Sonderbronzen wurden entwickelt, die wiederum mit Bronze nichts zu tun haben, da gar kein Zinn enthalten ist, oftmals nicht einmal der Hauptbestandteil der Bronze, nämlich Kupfer: z. B. sogenannte Siliziumbronzen, Manganbronzen, oder Aluminiumbronzen. Im 20. Jahrhundert hat man viel geforscht, stets erfolglos, um die teure Glockenbronze, sie soll aus 78 bis 80 % Kupfer und 20 bis 22 % Zinn bestehen, ersetzen zu können. Diese mindestens 3500 Jahre lang bekannte Legierung (die ältesten je gefundenen Glocken stammen aus einem Fürstengrab in der Provinz Hubei in China, aus der Zeit um 1500 v. Ch.) ist heute weltweit anerkannt als die einzige, die sich für die Herstellung von Klangkörpern, so auch der guten Glocke eignet.

Die deutschen Glockengießer wissen natürlich, dass Tradition nicht die Anbetung von Asche sein kann, sondern die Weitergabe von Feuer sein muss. Darum werden wir weiter forschen und weiter experimentieren, um eines Tages einen Ersatz für das teure traditionelle Lehm-Schablonenform-Verfahren und/oder die teure Glockenbronze gefunden zu haben. Solange dies aber noch nicht gelungen ist, werden wir Deutschen weiterhin versuchen, auch für internationale Aufträge, standhaft das von deutschen Glocken in Fachkreisen als unübertroffene Qualität für das Musikinstrument Glocke bewiesene Verfahren beizubehalten.

Bewertung der Qualität von Gussbauteilen mittels CT und künstlicher Intelligenz

Dr. Lutz Hagner - Microvista GmbH, Blankenburg/Harz

Die Inspektion von Gussbauteilen mit Hilfe von Röntgen-Computertomografen ist seit Jahren gängige Praxis und entwickelt sich zunehmend zum Standard bei der Bemusterung. Nach wie vor sind die Haupteinsatzfälle für gegossene Produkte im Bereich der Automobilindustrie zu finden und das wird trotz zunehmender E-Mobilität auch in den nächsten Jahren noch so bleiben.

Umgekehrt schlagen die Anforderungen und Bedürfnisse dieses Industriezweigs unmittelbar auch auf die Gießerei-Industrie durch. Dazu zählen neben dem seit Jahrzehnten üblichen Kostendruck vor allem

Bild 6: Reale CT-Aufnahmen eines Pleuels

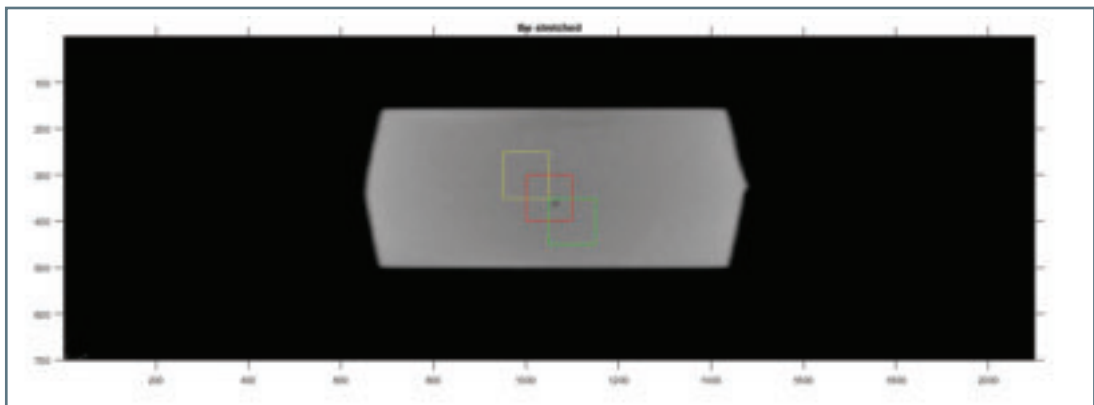




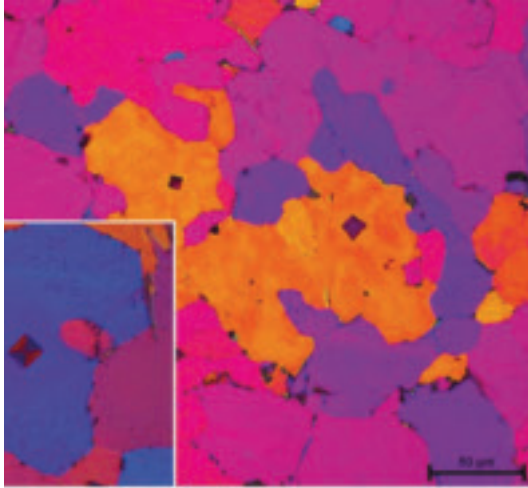
Bild 7: Werner Menk bei seinem Vortrag mit Moderator Dr.-Ing. Andreas Kebler.

auch das Erfordernis der CO₂-Reduktion und der damit verbundene Wunsch nach Masseeinsparung. Die Reaktion der Industrie darauf ist vielschichtig, Downsizing und Funktionsintegration gehören dazu. Im Ergebnis führt das dazu, dass es für die Ingenieure immer schwieriger wird, Prozesse fähig und beherrscht zu gestalten. Es gibt zunehmend Herstellungsprozesse, die trotz FMEA risikobehaftet sind und in die sich unbemerkt Fehler einschleichen, die dann erst sehr spät und entsprechend kostenintensiv erkannt und beseitigt werden.

Aus den genannten Gründen steigt die Bedeutung von zerstörungsfreien Prüfverfahren im Allgemeinen und der Computertomografie im Besonderen. Diese Entwicklung wird zusätzlich dadurch befeuert, dass im Rahmen von Industrie 4.0 der digitale Zwilling eines Objektes zur Steuerung nachfolgender Verarbeitungsprozesse zunehmende Mengen an individualisierter Information benötigt. Es ist daher nur konsequent, wenn der VDMA im Einheitsblatt 34 162 die Inspektionskosten den Herstellungskosten zuordnet und nicht, wie in der Vergangenheit (siehe DIN 55350 Teil 11), den qualitätsbezogenen Kosten. CT-Inspektionen gehörten in der Vergangenheit zu den kostenintensiven Prüfungsverfahren, weil einerseits die Prüfung sehr anlagenintensiv ist, andererseits die Prüfdauer sich über viele Stunden erstreckte. Prüfkosten > 1000 Euro/Objekt waren deshalb nicht ungewöhnlich und erlaubten den Einsatz dieser Prüfmethode ausschließlich zur Bemusterung und Fehleranalyse an Stichproben geringen Umfangs. Neue technische Entwicklungen erlauben inzwischen die dramatische Reduzierung der Prüfzeit bei gleichzeitig verbesserter Aussagekraft der Analyse. Dadurch wird die Analyse und Bewertung der erhobenen Daten zum kritischen Pfad im Inspektionsprozess. Zwar stehen dem Menschen heute leistungsfähige Hilfsmittel zur Auswertung von CT-Digitalisierungen zur

Verfügung, aber auch damit kann er Durchsätze von 60 bis 100 Prüfobjekten pro Stunde nicht ansatzweise erreichen. Diese Engpasssituation lassen sich nur durch automatische Analyse und Bewertung überwinden. Daran haben wir auch schon einige Jahre erfolgreich mit klassischen Konzepten gearbeitet [1]. Die aufgrund von bekannten Prozessrisiken und wegen aktueller Probleme identifizierten Merkmale werden in den Datensätzen gesucht und auf Basis von schwellwertbasierten Verfahren bezüglich ihrer Qualitätsrelevanz bewertet. Die Bewertungsergebnisse liegen in der Regel in wenigen Minuten vor. Die Diskrepanz zu den Taktzeiten kann durch mehrere Auswertinstanzen und einen kleinen Puffer, in dem die inspizierten Teile auf ihre Bewertung warten müssen, ausgeglichen werden. Die genannte Vorgehensweise hat aber wesentliche Nachteile. Einerseits ist das Finden geeigneter Schwellwerte für die Indizierung eines Merkmales als „Fehler“ ein aufwendiger und mitunter langwieriger Justierprozess. Erst nach etlichen Iterationen ist die gewünschte Präzision zur Vermeidung von falsch positiven und falsch negativen Bewertungen erreicht. Darüber hinaus ist die Wartung derartiger Algorithmen sehr aufwendig, weil sie in der Regel durch eine lange Liste komplexer Regeln gekennzeichnet sind. Damit fehlt dieser Methode die Flexibilität, schnell auf veränderte Prozessbedingungen und Inspektionsanforderungen einzugehen. Die Anpassung ist aufwendig und damit zeit- und kostenintensiv. Schließlich kann sie in der Regel nur durch speziell qualifiziertes Personal durchgeführt werden, dessen Vorhaltung durch den Produzenten, Gießer etc. nicht wirtschaftlich ist. Dadurch wird die Inspektion von großen Stichproben oder 100 % der Produktion trotz steigender Notwendigkeit aus Kosten- und Praktikabilitätsgründen erheblich behindert. Die Vorgehensweisen des Menschen künstlich mit Hilfe von Rechentechnik nachzubilden,

Bild 8: Mit Zr und Sc-Zugaben korngroße Al 4CuTi-Legierung.



ist schon viele Jahre ein Forschungsthema und hat auch immer wieder zu spektakulären Ergebnissen geführt. Inzwischen ist das maschinelle Lernen längst aus dem Schatten von Universitäten herausgetreten und gehört zum Alltag eines jeden von uns. Siri oder Cortana, die Gesichts- und Personenerkennung im Smartphone – ohne künstliche Intelligenz würde es sie nicht geben. Mit der Entdeckung sogenannter faltender neuronaler Netzwerke stand eine neue Methode zur Segmentierung und Klassifizierung von Bildinformationen zur Verfügung, die nicht nur an die Leistungen von Menschen heranreicht, sondern sie in Einzelfällen sogar übertrifft. Entsprechend entwickelte sich schnell eine Reihe von Anwendungen. Die großen IT-Unternehmen wie Google, Amazon, IBM, Microsoft beflügelte diese Entwicklung dazu, wesentliche Softwarebestandteile für den Aufbau solcher Netze kostenlos zur Verfügung zu stellen. Im Bereich der zerstörungsfreien Prüfung gab es auch in der Vergangenheit schon Untersuchungen zur künstlichen Intelligenz, die durchaus vielversprechend waren [2,3,4]. Bei den Experten im Bereich zerstörungsfreier Prüfung (zfp) stießen jedoch alle Versuche, solche Systeme in die Praxis einzuführen,

auf große Skepsis. Ursache dafür war vor allem der völlig intransparente Entscheidungsprozess z. B. von neuronalen Netzen. Selbst wenn ein Netzwerk richtige Entscheidungen traf, konnte nicht nachvollzogen werden, auf welcher Basis diese Entscheidung entstanden war. Dieser Makel wurde mit den faltenden neuronalen Netzen überwunden. Damit konnte nicht nur neues Vertrauen gewonnen werden, sondern es ergaben sich auch Möglichkeiten, durch gezielten Eingriff des Menschen in das Netzwerk dessen Fähigkeit zu analysieren und zu verbessern. Um die Einsetzbarkeit von derartigen Netzen zur automatischen Bewertung von CT-Scans zu testen, wurden zunächst Versuche mit softwaregenerierten Röntgen-/Schnittbildern von Bauteilen mit und ohne Merkmale (Poren) sowie mit und ohne überlagertes Rauschen unternommen. Diese Bilder waren klein und manifestierten jeweils nur einen Schnitt durch das Objekt. Außerdem war die Geometrie des Objekts sehr einfach gewählt. Artefakte, die in CT-Bildern häufig auftreten, wurden nicht berücksichtigt. Nach einem Training mit gut 1000 Bildern wurden sehr gute Ergebnisse bei der Klassifizierung zwischen porenbehafteten und porenfreien Bauteilen erreicht. Über 99 % der Bilder wurden richtig klassifiziert. Die Geschwindigkeit für eine Bewertung war <1 s und damit vielversprechend. Deshalb wurden in einem nächsten Schritt die gegenüber realen CT-Bildern vorhandenen Einschränkungen überwunden. Es wurden reale CT-Bilder (Bild 6) aus allen drei Betrachtungsrichtungen verarbeitet. Als Testobjekt wurden aus Aluminium gegossene Pleuel verwendet, von denen in ausreichendem Umfang Daten vorlagen und die genügend viele, aber nicht zu viele Merkmale aufwiesen. Für jeden Pleuel wurden aus den drei Betrachtungsrichtungen Bilderstapel erzeugt, die jeweils eine Schicht von 200 µm des Objekts repräsentieren. Damit sollte sichergestellt werden, dass Poren mit $d > 400 \mu\text{m}$ ausreichend gut aufgelöst werden. Es ergab sich eine Ausgangsdatenmenge von ca. 1050 standardisiert generierten Bildern konstanter Größe. Ein Schnittbild entsprechend Bild 6

Bild 9: Das Unternehmen Friedr. Lohmann realisierte am Standort Witten-Annen eine neuartige modulare Fertigungslinie für das Formen und Gießen von Sandgussbauteilen



enthält 2 100 x 800 Pixel und ist für die Einspeisung in ein Netz zu groß. Deshalb werden die Schnittbilder, wie farbig in Bild 6 angedeutet, in viele kleinere Bilder (100 x 100 Pixel) aufgeteilt.

Außerdem werden Hintergrundinformationen eliminiert. Diese Bilder wurden dann als porenbehaftet und porenfrei gelabelt. Das faltende neuronale Netz wurde mit 10 000 Bildern einer Betrachtungsrichtung (Front) angelernt. Im ersten Versuch erkannte das Netz 95 % der Testdaten richtig. Eine Ursache für den 5 % Anteil an Fehlinterpretationen war die relativ geringe Anzahl von 350 porenbehafteten Bildern – ein im zFP-Bereich typisches Problem. Die Lerndaten müssen gerade die zu suchenden Merkmale in ausreichendem Umfang enthalten. Stehen keine Messdaten zur Verfügung, kann man sich mit Simulationen behelfen. Ein weiterer Optimierungsschritt ergibt sich dadurch, den Weg, den fehlerhaft bewertete Bilder durch das Netzwerk nehmen, in umgekehrter Richtung nachzuvollziehen und so manuelle Anpassungen an den Lerndaten des Netzes vorzunehmen. Auf diese Weise konnten die Bewertungsergebnisse auf 99,8 % verbessert werden. Damit dürfte der Mensch in der manuellen Auswertung schon deutlich übertroffen sein. Ohne entsprechende Parallelisierung und Hardwareunterstützung benötigt die Bewertung eines Bauteils (120 000 Bilder der Größe 100 x 100 px) aktuell etwa 3,5 h. Eine Bewertung im Takt der Produktion liegt damit kurzfristig noch nicht in Reichweite. Mittelfristig wird die Verarbeitungsleistung jedoch kaum ein Problem bleiben. Deshalb ist davon auszugehen, dass insbesondere faltende neuronale Netze einen wichtigen Platz bei der automatischen Bewertung der Ergebnisse bildgebender Inspektionsverfahren einnehmen werden.

[1] Reiman, B., Hagner, L.: *Schnelle Porenanalyse zur automatischen Bewertung von Leichtmetallguss mittels Inline CT Inspektion*, DGZfP Jahrestagung 2017

[2] Hyeong-Gyeong Moon, Jung-Hoon Kim: *Intelligent Crack detecting algorithm on concrete crack image using neuronal network*. In Internetseite https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB_DC23576.pdf, Abruf am 5.10.2018

[3] Bettayeb, F.: *The Artificial Intelligence in Service of Ultrasonic Inspection Reliability*, In Internetseite: <https://www.ndt.net/article/wcndt00/papers/idn581/idn581.htm>; Abruf 5.10.2018

[4] Sikora, R., Chady, T., Baniukiewicz, P.: *Application of artificial intelligence methods in nondestructive testing*; In Internetseite <https://dSPACE5.zcu.cz/bitstream/11025/11484/1/Sikora.pdf> - 30.09.2018 ; Abruf am 5.10.2018

[5] Krizhevsky, Alex et al: *ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks*; In Internetseite <https://papers.nips.cc/paper/4824-imagenet-classification-with-deep-convolutional-neural-networks.pdf>; Abruf am 5.10.2018

Ein neues hochfestes hochduktileres Gusseisen mit Kugelgraphit

Dr. Werner Menk, GF Casting Solutions AG, Schaffhausen/Schweiz (Bild 7)



Bild 10: Blick auf die innovative Gießlinie im Hochregallager.

Vor Jahren schon wurde eine neue Werkstoff-Familie propagiert: Mischkristall-verfestigtes Gusseisen mit Kugelgraphit. Seit der Ausgabe 2011 wurde drei entsprechende Sorten in der EN 1563 aufgenommen: EN-GJS-450-18, EN-GJS-500-14 und EN-GJS-600-10. Die Einführung dieser drei Werkstoffsorten in die Europäische Norm hat europaweit zu einem großen Interesse der Ingenieure geführt, das mittlerweile zu einem Hype angewachsen ist. Die Ursache dafür ist klar: Während GJS-450-18 sich nicht groß vom konventionellen GJS-400-15 unterscheidet, verspricht insbesondere der GJS-500-14 große Vorteile gegenüber dem konventionellen GJS-500-7. Dieselbe Zugfestigkeit, eine von 320 auf 400 MPa erhöhte 0,2 %-Dehngrenze, sowie eine von 7 auf 14 % verdoppelte Bruchdehnung sind natürlich interessante Verbesserungen. Zudem ist dank der rein ferritischen Matrix eine deutlich verbesserte Bearbeitbarkeit zu erwarten.

Bezüglich des neuen GJS-600-10 sind schon früh skeptische Stimmen aufgetaucht: Der Siliziumgehalt muss derart hoch eingestellt werden, um die geforderten Festigkeiten zu erreichen, dass die Gefahr einer Ferritversprödung auch bei Raumtemperatur schon sehr hoch ist. Aber der GJS-500-14 hat bis heute den Ruf, ein Werkstoff mit hoher Festigkeit und gleichzeitig hoher Zähigkeit zu sein. Überzeugende Argumente, die dazu führten, dass ein bisher in Stahl produziertes Bauteil mit GJS-500-14 substituiert wurde und künftig bei GF Casting Solutions produziert wird. Alle Berechnungen und Prüfungen wurden bestens bestanden, aber sobald das Teil in Serie war, traten Felddausfälle in Form von Sprödbrüchen auf. Die Untersuchung der Schadensteile zeigte, dass sie offensichtlich nicht nur statisch und zyklisch, sondern auch dynamisch belastet werden und bei schlagartiger Beanspruchung ohne Vorwarnung brachen. Tiefergehende Untersuchungen an Proben mit Gusshaut zeigten, dass sich der Werkstoff GJS-500-14 unter diesen Bedingungen nicht wirklich duktil verhält.

Durch die Besinnung auf die GF Casting Solutions-Philosophie, die bereits beim Werkstoff SiboDur 700 stattfand, nämlich eine moderate Mischkristallverfestigung kombiniert mit einer leichten Verfestigung durch Perlit, entstand ein neues hochfestes und hochduktileres Gusseisen mit Kugelgraphit mit dem Namen SiboDur 500. Es hat die gleiche Festigkeit wie GJS-500-10, eine lediglich um 10 % niedrigere 0,2 %-Dehn-



Bild 11: 3-D-Druckanlage in Leipzig.

grenze, eine etwas niedrigere Bruchdehnung, aber weist je nach Temperatur die doppelte bis vierfache Energieaufnahme bis zum Bruch bei schlagartiger Beanspruchung auf. Der Vortrag beschreibt die durchgeführten Versuche und Ergebnisse mit verschiedenen Werkstoffen aus Gusseisen mit Kugelgrafit.

Neue Aspekte bei der Herstellung von Leichtmetallguss

Peter, Schumacher, Montanuniversität Leoben, Österreichisches Gießerei-Institut

Die Entwicklung von Leichtmetallgussstücken muss sich permanent neuen technischen und auch wirtschaftlichen Herausforderungen stellen. Insbesondere die Anforderungen des Leichtbaus verlangen dünnwandige Bauteile in komplexen Geometrien, die mit der Zusammenführung von Bauteilen u. a. zwei Problemfelder aufdecken. Zum einen müssen die Werkstoffeigenschaften geeignet sein, zunächst die dünnen Wandstärken noch zu füllen, sowie später die erforderlichen Spannungen zu übertragen, zum anderen führen die komplexen Geometrien häufig zu nur schwer entkernbaren Innenkernen. Dieser Trend wird zusätzlich mit dem vermehrten Einsatz von komplexen 3-D-gedruckten Kernen verstärkt. Die herkömmliche Methode, mit immer stärkeren Kräften auf das Gussprodukt zur Entfernung von Kernen einzuwirken, bietet jedoch keine Möglichkeit, Vorhersagen über die Entkernbarkeit zu machen, da keine grundlegenden Beschreibungen des Kernstoffzerfalls bestehen. Ein vielversprechender Ansatz ist die Übertragung der Materialbeschreibung von granularen Materialien auf Gießereikerne, wobei die spezifischen Temperatureinwirkungen auf den Kern zu berücksichtigen sind. Ein Überblick dieses Ansatzes wurde im Vortrag präsentiert.

Mit den dünnwandigen Strukturen einhergehend müssen auch höhere Kräfte übertragen werden, wobei die am meisten eingesetzten Legierungen auf Al-Si-Basis an ihre Grenzen stoßen. Untereutektische Al-Si-Legierungen neigen zu einer Grobkornbildung oberhalb des Eutektikums, die es nicht erlaubt dünnwandige Strukturen mit einem Massenfluss zu füllen. Zwar füllt die verbleibende Restschmelze als Eutektikum die Form gut, jedoch muss sich die Schmelze

durch das Dendritennetzwerk zwingen. Eine bessere Kornfeinung der Al-Si-Legierung würde einen Massenfluss positiv beeinflussen. Zusätzlich wird durch die Veredelung des Al-Si-Eutektikums ein grobes eutektisches Korn erzeugt, auf dessen Korngrenzen sich aus der Restschmelze grobe intermetallische Verbindungen ausscheiden können. Damit kann sich eine Konstellation ergeben, dass sich die Korngrenzen eines groben eutektischen Kornes mit einer Größe von mehreren Millimetern über die ganze Wanddicke erstrecken und dessen Dekoration mit intermetallischen Verbindungen als Schwachstelle wirkt.

Ein besserer Massenfluss kann auch durch eine extreme Kornfeinung von Al-Cu-Legierungen erfolgen. Hierbei werden den Legierungen Zusätze von Zr und Sc zugegeben, die eine Korngröße $> 80 \mu\text{m}$ erzeugen. Mit dem zu erwartenden Preisnachlass von Sc-Legierungen mit der Eröffnung von neuen Sc-Minen in Australien und der Gewinnung von Sc aus Rotschlamm bei der Al-Gewinnung, kann die Sc-Zugabe einen attraktiven Weg für hochwertige Gussstücke darstellen (Bild 8).

Für einen verbesserten Einsatz der Al-Si-Legierungen und der hochwertigen Al-Cu-Legierungen müssen die im Vortrag beschriebenen Mechanismen der Kornfeinung gezielt eingesetzt werden, um auch eine wirtschaftliche Umsetzung in realen Gussteilen zu ermöglichen.

MODULCAST – Modulare Fertigungslinie zur energieeffizienten und ressourcenschonenden Produktion von Stahlgussteilen in kleinen und mittleren Serien

Thorsten Kutsch, Friedrich Lohmann GmbH, Witten

Ein neuartiges Hochregallagersystem ermöglicht der Gießerei Friedr. Lohmann den wahlfreien Zugriff auf Formkästen – und sorgt so für hohe Zeit-, Material- und Energieeinsparungen in der Fertigung. Für das erstmals in der Industrie eingesetzte Verfahren erhielt das Unternehmen einen Zuschuss aus dem Umweltinnovationsprogramm des Bundesumweltministeriums (BMUB) (Bild 9).

Die seit über 225 Jahren bestehende Friedr. Lohmann GmbH produziert an zwei Standorten in Witten Blech- und Stabstahlprodukte aus Schnellarbeits-, Werkzeug- und Spezialstahl, hitzebeständige und verschleißfeste Edelstahlgüsse sowie Schweißverbundkonstruktionen für Automotive, Maschinenbau, Werkzeugbau und Windkraft.

Am Standort Witten-Annen wird eine Edelstahlgießerei mit zwei Induktionsöfen betrieben. Spezialisiert ist die Gießerei auf individuell gefertigte Produkte in geringen Losgrößen. Bei der Fertigung von kleinen bis mittleren Losgrößen bestehen hohe Anforderungen an den Prozess, da sich die Schmelzen, Gießrandbedingungen und Gießfolgezeiten je nach gefertigtem Produkt fortlaufend ändern. Bestehende Verfahren erfüllen die Anforderungen nur unzureichend. Die Gießerei plante und errichtete deshalb erstmalig im großtechnischen Maßstab eine modulare Fertigungslinie für das ressourceneffiziente Formen und Gießen hochwertiger Sandgussbauteile in

kleinen und mittleren Serien. Dabei werden die mit Sand gefüllten Formkästen programmgesteuert dem Hochregallager in vordefinierte Gießpositionen zugeführt. Durch den wahlfreien Zugriff auf die Formkästen zu jedem Zeitpunkt des Abgießvorgangs lassen sich die Warte-, Transport- und Manipulationszeiten beim Erschmelzen und Abgießen gegenüber herkömmlichen statischen Verfahren verringern.

Der wahlfreie Zugriff auf die Formkästen erlaubt darüber hinaus eine anforderungsorientierte Steuerung der Produktion und führt insgesamt zu einer besseren Reproduzierbarkeit des Gießablaufs.

Die Hochregallösung verringerte auch den Hallenflächenbedarf der Fertigungsanlage. Da die Gieß- und Abkühl-Areale kleiner sind, können die beim Abgießen und Erstarren entstehenden Dämpfe nahezu vollständig abgesaugt und in einen Rotationswärmetauscher gespeist werden. Die gewonnene Wärme wird heute zur Beheizung der Halle eingesetzt (Bild 10).

Die Friedr. Lohmann GmbH produziert in Witten in der siebten Generation an zwei Standorten Spezial- und Edelstähle sowie hochverschleißfeste und hitzebeständige Gussteile. Das Familienunternehmen, das 1790 gegründet wurde, befindet sich heute in 7. Generation. Aktuell beschäftigt Lohmann ca. 350 Mitarbeiter. Die Produkte des Unternehmens erfreuen sich weltweiter Nachfrage. Das Unternehmen arbeitet kontinuierlich daran, die hohe Produktqualität zu erhalten und zu verbessern. Gleichzeitig stellt das Familienunternehmen aber immer höhere Ansprüche an die Umweltverträglichkeit der eingesetzten Technologien.

Mehr hierzu in der Unternehmensreportage in dieser Ausgabe ab S. 66.

Additive Form-/Kernfertigung – Herausforderungen & Potenziale

Lukas Blumenauer, GF Casting Solutions Leipzig GmbH

Der 3-D-Sanddruck als additives Fertigungsverfahren hat sich in den letzten Jahren zu einem hilfreichen Verfahren für die Gießereibranche entwickelt und wurde insbesondere in der Prototypenfertigung als Standard etabliert. GF Casting Solutions hat sich entschieden in Leipzig ein Kompetenzzentrum für gedruckte Sandkerne zu eröffnen.

In der ersten Baustufe des Kompetenzzentrums ist ein ExOne S-Max-Drucker installiert, welcher mit kalthärtendem Phenolharzbinder (KHP) arbeitet (Bild 11). Der Druckraum hat eine Größe von 1800 x 1000 x 700 mm und benötigt ca. 22 h Druckzeit, um den Druckraum vollständig zu füllen. Durch den Einsatz von zwei Job-Boxen ist ein nahezu unterbrechungsfreier, kontinuierlicher Druckprozess gewährleistet. GF Casting Solutions hat sich aufgrund von prozess- und gießtechnischen Vorteilen gegen das etablierte Furanharzverfahren entschieden. Insbesondere eine um bis zu 70 % reduzierte Nacharbeitszeit der Kerne, bessere Heißfestigkeitseigenschaften sowie die höheren Endfestigkeiten haben zu dieser Entscheidung geführt.

Als Druckmaterialien werden Quarzsand sowie Cerabeads eingesetzt. Während Quarzsand vorwie-

gend in der Herstellung von Prototypkernen und -formen Anwendung findet, werden Cerabeads unter anderem für die Herstellung von komplexen Ölkernkernen in der Serienfertigung verwendet. Der Einsatz aufwendig bearbeiteter Stahlrohre im Verbundgießverfahren wird dadurch substituiert.

Im Vergleich zum Furanharzverfahren entstehen im KHP-Verfahren deutlich weniger flüchtige Bestandteile, womit die Anhaftung von ungedrucktem Sand deutlich reduziert wird. Dies ermöglicht neben kürzeren Nacharbeitszeiten einen nahezu unbegrenzten Freiheitsgrad bei der Gestaltung von Kernen und Formen. Die Herausforderungen im KHP-Verfahren liegen speziell in der aufwendigen Job-Box-Gestaltung sowie im Handling der Kerne, vor der Erreichung der Endfestigkeit im Trockenofen. Eine geringe Schwindung der Kerne während des Druckprozesses macht die korrekte Platzierung der Kerne in der Box sowie den Einsatz von Stützstrukturen notwendig. Ebenfalls sind die Verwendung von geeigneten Innenkonturen sowie die chemische Abstimmung auf die gewünschten Prozesszeiten essentiell für die maßhaltige Entnahme der gedruckten Kerne aus dem Sandbett. Auch die Umweltbedingungen am Standort des Druckers haben großen Einfluss auf das Druckergebnis. Eine möglichst konstante Arbeitstemperatur und Luftfeuchtigkeit sind der Prozessstabilität dienlich.

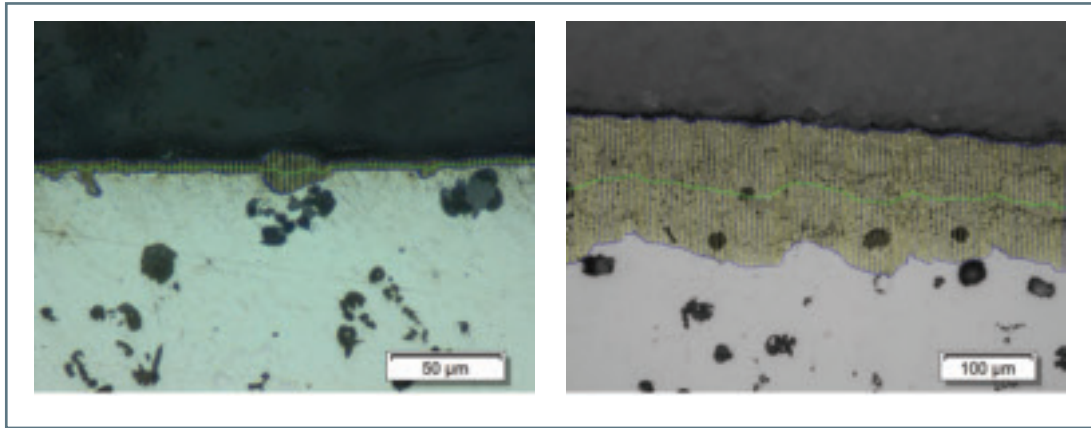
Um einen Serieneinsatz gedruckter Kerne zu ermöglichen, ist neben dem eigentlichen Druckprozess auch die Optimierung aller Folgeprozesse unabdingbar. In der Weiterentwicklung dieser liegt aktuell die größte Herausforderung.

HERO Premium Casting - ein innovatives Herstellungsverfahren für Aluminiumfeinguss

Marco Reinhardt - Tital GmbH, Bestwig

In der Luftfahrtindustrie spielen Qualität und Sicherheit eine entscheidende Rolle. Es werden hohe Anforderungen an die gesamte Lieferkette gestellt. Gießereien, welche sich auf Kunden der Luftfahrtindustrie spezialisieren, müssen Bauteile höchster Qualität liefern. Mit dem Feingießverfahren können komplexe, dünnwandige Strukturbauteile mit geringer Oberflächenrauigkeit gefertigt werden. Dadurch ist dieses Herstellungsverfahren für die Luftfahrtindustrie prädestiniert. Um den hohen Kundenanforderungen gerecht werden zu können, wurde vom US-amerikanischen Arconic-Konzern an seinem Standort in Bestwig (ehemals Tital GmbH) ein innovatives Fertigungsverfahren für Aluminiumfeinguss entwickelt. Das patentierte HERO Premium Casting-Verfahren ermöglicht eine Erhöhung der mechanischen Eigenschaften bei gleichzeitig verbesserter Bauteilqualität. Kundenspezifikationen wie die AMS-A-21180 für die Legierung AlSi7Mg0,6 können problemlos eingehalten werden. Grund für die Verbesserung der mechanischen Eigenschaften ist eine Beeinflussung der Erstarrung von Aluminium-Feingussteilen. Keramische Feingießformen werden abgegossen und anschließend im HERO-Aggregat platziert. Die keramische Feingussform wird jetzt computergesteuert in ein Kühlmedium (Tempe-

Bild 12: a) Zunderschichtanalyse GJV-SiMoAl-4, b) Zunderschichtanalyse D5S.

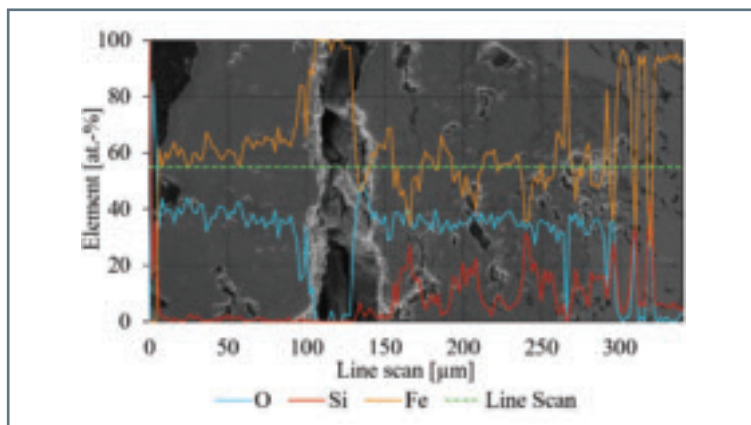


ratur $< 100\text{ }^{\circ}\text{C}$) abgesenkt. Das Medium durchdringt die Feingießform und ermöglicht eine schnelle Wärmeabführung von der flüssigen Schmelze in die penetrierte Schale. Oberhalb des Kühlmediums wird die Schmelze in einer Heizhaube flüssig gehalten. Die Absenkgeschwindigkeit kann in Abhängigkeit von der Wandstärke variiert werden, wodurch sich eine gelenkte Erstarrung mit isotropen Bauteileigenschaften ergibt. Der hohe Temperaturgradient der Schmelze im Grenzbereich zwischen Kühlmedium und Heizebene, führt zu einer feinen Kornstruktur. Die garantierte Bauteilfestigkeit von im HERO-Verfahren hergestellten Bauteilen der Legierung A357 (AlSi7Mg0,6) ist gegenüber konventionell gefertigten Feigussteilen der Legierung A357 um 11 % höher. Für separat gegossene Probestäbe wurden sogar 25 % höhere Festigkeiten erzielt, bei gleichzeitiger Erhöhung der A5-Dehnung um 50 %. Aufgrund einer gelenkten Erstarrung von der Formunterseite (Anschnittebene) bis zur Formoberseite (Speiserebene) ist es dank einer gezielten Parametereinstellung im HERO-Aggregat möglich, die Lunkerneigung im Bauteil zu reduzieren. Die Qualität von im HERO-Verfahren hergestellten Feigussteilen wird somit verbessert. Gleichzeitig wird gegenüber dem konventionellen Aluminiumfeingießen weniger Einsatzmaterial für das Gieß- und Speisungssystem benötigt. Das patentierte HERO Premium Casting-Verfahren bietet somit zahlreiche Vorteile gegenüber dem konventionellen Aluminiumfeingießen.

Bild 13: Linienscan der Oxidhaut eines GJL mit 3,1 % C und 4,05 % Si.

Innovative Ansätze beim Zementformverfahren

Peter Schmidt, TU Bergakad. Freiberg, Gießerei-Institut



Das Zementformverfahren als kaltselfhärtendes Formverfahren ist den meisten Gießern größtenteils nur aus der Ausbildung oder dem Studium bekannt und gilt als eher exotisch. Es wird wegen seiner vielen Nachteile nur noch selten angewendet. Die Hauptnachteile des Zementformverfahrens liegen dabei in den geringen Formstofffestigkeiten und den dennoch extrem langen Härtingszeiten bis zum Abguss. Diesen signifikanten wirtschaftlichen Nachteilen stehen neben den geringeren Binderkosten des Zementformverfahrens vor allem ökologische Vorteile wie eine emissionsfreie Verarbeitung und ein emissionsfreier Abguss entgegen. Aufgrund dieser Vorteile wurde in Zusammenarbeit mit der Industrie und dem Zementhersteller Schwenk, gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt, das Projekt „RapidZem“ ins Leben gerufen. Ziel des Projekts ist, die Härtingsdauer von Zementformstoffen signifikant zu senken, und deren Frühfestigkeiten zu erhöhen. Erzielt werden kann das durch das Ersetzen von klassischerweise als Binder genutztem Portlandzement durch einen Ettringit-Zementbinder. Ettringit-Zemente, die aus einem Sulfat-, einem Aluminat- und einem Kalziumträger bestehen, zeichnen sich durch eine außergewöhnlich schnelle Erhärtung und hohe Frühfestigkeiten aus. Im Gegensatz zu klassischem Portlandzement, bei dem die Festigkeitsentwicklung erst nach 6 - 8 h startet, beginnt die Verfestigung dieser Zemente schon 5 - 40 min nach dem Anmischen mit Wasser. Durch diese deutlich schnellere Reaktion könnten im Vergleich zu anderen schnellhärtenden Zementbindern, wie dem Zement-Melasse-Binder oder durch Kalziumchlorid beschleunigte Zemente, signifikante Festigkeitssteigerungen erreicht werden. Die Sintertemperatur des Formstoffes wird durch die hohen Anteile an Kalziumoxid und Aluminiumoxid merklich verschlechtert, weshalb, wie bei allen Zementformstoffen, das Schichten zwangsweise nötig wird. Die Ergebnisse der ersten Abgussversuche zeigen, dass der hohe Schwefelgehalt des Formstoffes, bedingt durch den hohen Kalziumsulfatanteil, keinen Einfluss auf die Kugelausbildung von Guss-eisen mit Kugelgraphit zeigt. Im gesamten Gefüge der abgegossenen Proben konnte keine Beeinflussung durch den Zementformstoff festgestellt werden. Alles in allem kann durch den Einsatz neuer Zementbinder ein anwendbarer zementgebundener Formstoff hergestellt werden, der den meisten Anforder-

rungen der Gießerei entspricht und mit dem das Herstellen guter Gussteile möglich ist. Zukünftig müssen insbesondere das Zerfallsverhalten, die Regenerierbarkeit und das Verhalten bei Abgüssen im Industriemaßstab betrachtet werden. Diese Punkte werden im weiteren Verlauf des Projekts noch genauer untersucht. Hierzu sind sowohl umfangreiche Versuche mit Zementaltsanden im Labormaßstab als auch Abgussversuche mit realen Bauteilen geplant.

Oxidationsbeständige Eisengusswerkstoffe für Hochtemperaturanwendungen

Nico Scheidhauer, TU Bergakademie Freiberg, Gießerei-Institut

Ein erheblicher Anteil der heute gegossenen Gusseisen- und Stahllegierungen wird im Temperaturbereich zwischen 600 °C und 1050 °C eingesetzt. Die wesentlichen Einsatzgebiete finden sich im Motorenbau, Ofenbau und der Kraftwerkstechnik. Im Rahmen der Untersuchungen an der TU Bergakademie Freiberg werden sowohl Werkstoffe, welche dem Stand der Technik entsprechen, als auch kostengünstige Alternativ-Werkstoffe und Neuentwicklungen erprobt, um höhere Temperaturbereiche zu erschließen. Bei den Anwendungstemperaturen dieser Werkstoffe ist das Anforderungsprofil sehr komplex und anspruchsvoll.

Ein wichtiger Einflussfaktor auf die Eignung und Lebensdauer der Werkstoffe und somit auch die Lebensdauer des Bauteils ist die Oxidationsbeständigkeit, welche im Rahmen der vorliegenden Arbeit etwas genauer beleuchtet werden soll. Die Notwendigkeit einer ausreichenden Oxidationsbeständigkeit begründet sich in der Aufrechterhaltung der Maßtoleranzen und der tragenden Querschnitte, der optimalen Abgaskonvektion und der Vermeidung von Beschädigungen durch abplatzende Zunderpartikel.

Generell gelten Silizium, Aluminium, Chrom und Cer als Elemente, welche die Verzunderungsneigung von Werkstoffen reduzieren, da diese Elemente dichte Oxidschichten ausbilden, wodurch diese als präferierte Legierungselemente zu den untersuchten Eisen- und Stahllegierungen zugegeben werden. Dabei ist auf die Einhaltung der mechanischen Werkstoffanforderungen im Einsatz zu achten.

Die am Gießerei-Institut untersuchten Legierungen betreffen aluminiumlegierte SiMo-Gusseisensorten, austenitische Mangan- und Nickelgusseisen und NiCr-, MnCrN- NiCrN-Stähle. Jede Werkstoffgruppe zielt hierbei auf verschiedene Anwendungstemperaturbereiche ab. Die Oxidationsversuche am Gießerei-Institut werden in einen widerstandsbeheizten Muffelofen bei 800 bzw. 1000 °C für 96 h in Luftatmosphäre durchgeführt. Dafür wird eine Zylinderprobe präpariert, an welcher die Analysenfläche mit einer Körnung von 1200 P angeschliffen wurde. Eine einheitliche Bestimmung des Massenwachses ist bei zunderbeständigen Gusseisen- und Stahlsorten nicht möglich, aus diesem Grund wurde die Schichtdickenmessung anhand eines Querschliffes zur Auswertung gewählt. Zunderab-

platzungen werden über die Massenbestimmung der abgeplatzten Oxidhäute bewertet. Dafür wird die Probe zum Abkühlen in einen verschlossenen Keramikiegel gegeben.

Die Ergebnisse zeigen, dass Manganstähle im Allgemeinen deutlich stärker zur Verzunderung aber auch zu Zunderabplatzungen neigen, aber auch Mangangusseisen eine starke Verzunderung aufweist. Im Vergleich dazu stehen hoch nickellegierte Stähle und ferritische Gusseisen- und Stahlqualitäten mit hohen Silizium- bzw. Chromgehalten. In Bild 12 wird beispielhaft ein Silizium-Aluminium-legiertes Gusseisen dem nickellegierten D5S gegenübergestellt. Das D5S Gusseisen neigt noch dazu zur Zunderabplatzung, was, wie durch S. Münz et. al [1] beschrieben, bei Turboladergehäusen zu einer Beschädigung des Turbinenrades führen kann. Mangangusseisen mit sphärolitischer Grafitausscheidung sind zwar bezüglich der mechanischen Eigenschaften sehr gut mit dem D5S vergleichbar, führen jedoch durch den hohen Mangangehalt zu einer erheblich höheren Oxidationsneigung und Zunderabplatzung. Somit ist das Material in diesem Falle ungeeignet für den Anwendungsfall im Pkw-Abgasstrang.

Zur genaueren Untersuchung der Oxidationsprozesse im sehr verzunderungsarmen GJV-SiMoAl wurden REM-Untersuchungen an Oxidschichten bei GJL-Legierungen mit unterschiedlichen Si- und Al-Gehalten in Form eines Linienscans durchgeführt. Ein solcher Linienscan ist in Bild 13 dargestellt. Aus dieser Darstellung geht hervor, dass sich wie bereits von S. Gosh et. al [2] beschrieben, zuerst eine eisenreiche Oxidhaut auf der Bauteiloberfläche bildet, welche später stärker und stärker mit Silizium bzw. Aluminium aufkonzentriert wird. Dadurch bilden sich die benötigten dichten Oxidationsschichten aus, welche die Oxidationsanfälligkeit durch geringere Sauerstoffdiffusion herabsetzt.

Risse zwischen den Schichten treten prinzipiell an den Positionen auf, an denen die größten Konzentrationsunterschiede im Silizium- oder Aluminiumgehalt zwischen den einzelnen Oxidschichten vorhanden sind (siehe Bild 13). Es ist demzufolge wichtig, die chemische Zusammensetzung der Legierungen so einzustellen, dass Oxidschichten in möglichst dichter Form und ohne Konzentrationsunterschiede wachsen. Auch eine Prä-Oxidation könnte hier zielführend sein, um einen späteren Oxidationsfortschritt stark zu vermeiden.

In der Zukunft sollen die Legierungen weiter optimiert und die mechanischen Eigenschaften detaillierter untersucht werden. Des Weiteren soll ein zyklischer Abgasprüfstand installiert werden, welcher in Zukunft praxisnahe Ergebnisse liefern soll.

- [1] Dr. S. Münz, P. Schmidt, C. Römuss, K.-H. Brune, H.-P. Schiffer; *Turbolader für Emissionskonzepte mit niederdruckseitiger Abgasrückführung; Borgwarner Turbo & Emissions Systems KnowledgeLibrary; 2007*
- [2] S. Ghosh, A. Proadhan, N. Mohanty & A. K. Chakrabarti; *A Study on the Oxidation Characteristics of Cast Irons Containing Aluminum; Oxidation of Metals 45; 109-131; 1996*