

SFB 920



Multifunktionale Filter für die Metallschmelzefiltration – ein Beitrag zu Zero Defect Materials

NEWSLETTER

9 (2/2015)

DFG Deutsche Forschungsgemeinschaft



TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERGAKADEMIE FREIBERG
Die Ressourcenuniversität. Seit 1765.



LIEBE LESERINNEN UND LESER,

Der Sonderforschungsbereich 920 ist in die zweite Förderperiode gestartet. Im Mittelpunkt der Forschungsarbeiten stehen unter anderem die Multifiltration von Einschlüssen sowie eine verstärkte Verknüpfung von Modellierungen mit empirischen Untersuchungen. Das Forschungsprogramm umfasst zwei neue Teilprojekte, die in dem Projektbereich Modellierung der Filterstruktur/des Filtersystems bzw. in dem Projektbereich Filtereffizienz und Materialeigenschaften die Forschungsarbeiten ergänzen.

Wie auch in vergangenen Jahren integriert der SFB 920 mehrere internationale Gastwissenschaftler. Derzeit sind Studenten und Doktoranden aus Polen, dem Irak und China zu einem Forschungsaufenthalt vor Ort.

Über diese und weitere Ereignisse informiert Sie die aktuelle Ausgabe unseres Newsletters. Weitere Informationen finden Sie auf unserer Homepage unter <http://sfb920.tu-freiberg.de>.

Viel Freude beim Lesen!

INHALT

Aktuelles aus dem SFB 920

Multifiltration und Modellierung im Fokus des zweiten Projektzeitraums 2

Weitere aktuelle Meldungen 3

Aus den Arbeitsgruppen 4

Aus der Forschung

Reaktive Filter zur Vermeidung von H₂-Porosität im Aluminiumguss 6

Einfluss der Chemie der Filteroberfläche auf die Filtration von Aluminiumschmelze 7

Wechselwirkungen zwischen Filtermaterialien und Einschlüssen 8

Aktuelle Publikationen 9

Termine und Impressum 10

Prof. Dr.-Ing. habil. Christos G. Aneziris
Sprecher des SFB 920

Prof. Dr.-Ing. habil. Horst Biermann
stellv. Sprecher des SFB 920



MULTIFILTRATION UND MODELLIERUNG IM FOKUS DES ZWEITEN PROJEKTZEITRAUMS

Der Sonderforschungsbereich 920 „Multifunktionale Filter für die Metallschmelzefiltration - ein Betrag zu Zero Defect Materials“ ist in die zweite Förderphase gestartet. Die Forschungsziele knüpfen an wichtige Ergebnisse der ersten Förderperiode an. In den kommenden vier Jahren konzentrieren sich die Untersuchungen zum einen auf die Analyse von Einschlüssen in Metallschmelzen. Zum anderen sollen die Arbeiten im Bereich der Modellierung noch stärker mit empirischen Ergebnissen verknüpft werden.

Ziel des DFG-Sonderforschungsbereichs 920 „Multifunktionale Filter für die Metallschmelzefiltration - ein Betrag zu Zero Defect Materials“ ist die Erforschung intelligenter Filterwerkstoffe und Filtersysteme zur Reinigung metallischer Schmelzen für Produkte und Prozesse mit bahnbrechenden Funktionseigenschaften. In der zweiten Förderperiode stehen nun die **gezielte Multifiltration von Einschlüssen unterschiedlicher Chemie und Kristallsystem** bzw. eine Hybrid-Funktionalität mit gleichzeitig aktiven und reaktiven Filtrationsbeiträgen im Vordergrund. Ein weiteres Forschungsziel ist das **Studium der Kinetik der Abscheidungseffizienz** als Funktion des Grenzflächendesigns, der Mikro- und Makrostruktur, der Atmosphäre und des Sauerstoffes der Metallschmelze. Eine weitere Vision stellt die **Entfernung sehr feiner Einschlüsse auf der Basis metastabiler Phasen** im Bereich 50 bis 500 nm möglichst direkt nach ihrer Genese dar. **Nanofunktionalisierte Filterwerkstoffe** sollen darüber hinaus in intelligenten Filtersystemen für erhöhte Filtrationskapazität, Langzeitstabilität und Filtrationseffizienz am Beispiel Formguss größerer Schmelzen, Unterguss und speziellem, kontinuierlichen Strangguss modelhaft erforscht werden.

Dafür werden modernste Methoden für die theoretische und experimentelle Auslegung der aktiven und reaktiven Filterwerkstoffe, der Filterkammer und

für die Erfassung der Filtrationseffizienz am Gussbauteil eingesetzt. Die Wissenschaftler des SFB 920 nutzen unter anderem ein Hochtemperatur Konfokales Laser Scanning Mikroskop, um in Schmelzen in situ die Agglomerationsneigung von Einschlüssen bzw. deren Bewegung in Richtung funktionalisierter Filterwand zu erfassen. Mittels 3D-Mikrotomographie mit in situ Druckbeanspruchung kann die Haftung aufgebrachtener Funktionalschichten untersucht werden.

Schließlich sind die Simulation und die Modellbildung unabdingbare Bestandteile für ein tiefgründiges Verständnis der aktiven und reaktiven Wirkungsmechanismen der neuartigen Filterstrukturen in Wechselwirkung mit der strömenden Metallschmelze und deren erfolgreiche Implementierung in den metallurgischen Gieß- und Formfüllungsprozess. Einen essentiellen Beitrag für die Innovationskette „vom funktionalisierten Filter zum reineren, metallischen Hochleistungsbauteil“ leisten weiterhin die quantenmechanischen Berechnungen, die Strömungssimulation bei der Metallschmelze-Filtration, unterstützt von Wahrscheinlichkeitsagglomerationsmodellen bzw. -treffermodellen der Einschlüsse an der Filterwand, die thermodynamische Modellierung der Werkstoffe und Grenzflächen sowie die kontinuums- und schädigungsmechanische Modellierung für die Filtergeometrieauslegung.

Der Sonderforschungsbereich umfasst zudem zwei neue Teilprojekte. Unter der Leitung von Prof. Rüdiger Schwarze widmet sich das neue TP B06(N) der Wirksamkeit und Effizienz von Filtrationssystemen für kontinuierliche Gießverfahren. Prof. Michael Stelter und Prof. Christiane Scharf leiten das neue TP C06(N), das sich mit der Wirkung reaktiver Filter bei der Aluminiumschmelzefiltration sowie der Filtereffizienz im Labormaßstab auseinandersetzt.

Zu Beginn der zweiten Förderphase des SFB 920 bestätigte die Mitgliederversammlung den Vorstand mit den Mitgliedern Prof. Christos G. Aneziris (Sprecher), Prof. Horst Biermann (stellv. Sprecher), Prof. Urs Peuker, Prof. Rüdiger Schwarze, Dr. Anja Weidner (Vertreterin Postdoktoranden), Dr. Rhena Wulf, Dipl.-Ing. Tilo Zienert (Vertreter Doktoranden) sowie Dr. Undine Fischer (Geschäftsführerin, Gleichstellungsbeauftragte des SFB). Außerdem wurden Prof. Andreas Leineweber, Prof. Tobias Fieback und Prof. Olena Volkova einstimmig als neue Mitglieder des SFB 920 gewählt. Als Sprecher der Doktoranden des Graduiertenkollegs wurde Dipl.-Ing. Tilo Zienert in seinem Amt bestätigt. Als stellvertretende Sprecherin wurde Dipl.-Ing. Anne Schmidt gewählt. ■

WEITERE AKTUELLE MELDUNGEN

Am 14.10.2015 hatten die Doktorandinnen und Doktoranden des SFB 920 und des SPP 1418 die Gelegenheit, gemeinsam die **Salzgitter Flachstahl GmbH in Salzgitter** zu besuchen, um an einem Tag die Neuzustellung mit feuerfesten Materialien im Innenraum eines der drei Hochofen zur Erzeugung von Roheisen zu besichtigen. Mit einem Hochofen werden am Tag 10.000 bis 14.000 t Roheisen geschmolzen. Alle zehn bis 15 Jahre muss die Feuerfestausmauerung eines Hochofens aufgrund der Verschleißprozesse erneuert werden. Dabei werden mehr als 3.500 t feuerfestes Material verbaut. Oft wird diese Gelegenheit auch genutzt, um weitere Wartungs- und Modernisierungsmaßnahmen

Unter den zahlreichen nationalen und internationalen Ausstellern auf der **WERKSTOFFWOCHE 2015 in Dresden** war auch der SFB 920 vertreten. Gemeinsam mit dem zweiten Sonderforschungsbereich der TU Bergakademie Freiberg, dem SFB 799 „TRIP-Matrix-Composite“ präsentierten die Wissenschaftler auf der Fachmesse neueste Erkenntnisse der Werkstoffforschung.

Die WERKSTOFFWOCHE 2015 wurde von der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde e.V. (DGM) ausgerichtet. Auf der angeschlossenen Tagung wurden in Übersichtsvorträgen und Vertiefungs-

Der Sonderforschungsbereich 920 wird aktuell wieder durch mehrere internationale Studenten und Doktoranden unterstützt. Bereits im Sommer beteiligten sich IAESTE-Studenten aus dem Iran und aus Ghana an den Forschungsarbeiten der TP A01 bzw. B03. Ab Oktober dieses Jahres bis September 2016 werden **Ph.D.-Stipendiaten aus dem Irak bzw. aus Polen** im SFB in den TP B02 bzw. S03 mitarbeiten.

an der gesamten Hochofenanlage durchzuführen. Diese Wartungs- und Sanierungsarbeiten können bis zu drei Monate in Anspruch nehmen.

Zum Zeitpunkt der Exkursion wurde der ca. 11 m hohe Brennraum des Hochofens bereits von Altmaterial befreit, und es erfolgte die Neuzustellung feuerfester Materialien. In kleineren Gruppen wurden die Teilnehmer von erfahrenen Ingenieuren der Firma durch die Hochofenanlage geführt. Hierbei ergab sich die besondere Gelegenheit, über die gesamte Höhe des Hochofens die verschiedenen Temperaturzonen, welche den unterschiedlichen Beanspruchungen beim Schmelzen des Stahls entsprechend ausgelegt sind, zu begutachten. ■

seminaren innovative Werkstoffentwicklungen und -anwendungen aufgezeigt. Die Aussteller und Tagungsteilnehmer erhielten die Möglichkeit, neueste Erkenntnisse, Trends und Tendenzen im Bereich Werkstoffe und Materialien zu diskutieren. Gleichzeitig brachte die Messe Werkstoffforscher mit Herstellern aus der Maschinen- und Anlagenindustrie zusammen. Auf diese Weise wurden Produkte und Dienstleistungen zu den Themen Stoffgruppen, Herstellprozesse, Mess- und Prüftechniken sowie Qualitäts- und Zuverlässigkeitsstrategien von Werkstoffen gemeinsam präsentiert. ■

Außerdem ist noch bis Februar 2016 ein **Doktorand aus China** Gast im SFB 920. Er beschäftigt sich mit E-Modulmessungen feuerfester poröser Materialien. Sein Forschungsaufenthalt wird durch ein Stipendium der Universität Wuhan ermöglicht und erfolgt im Rahmen der internationalen Kooperation zwischen der TU Bergakademie Freiberg und der Wuhan University of Science and Technology. ■

DOKTORANDEN AUF EXKURSION



Foto: Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Exkursion des SFB 920 sowie des SPP 1418 zur Salzgitter Flachstahl GmbH.

FORSCHUNG TRIFFT ANWENDUNG



Foto: Präsentation des SFB 920 sowie des SFB 799 anlässlich der WERKSTOFFWOCHE 2015 in Dresden.

INTERNATIONALE GÄSTE

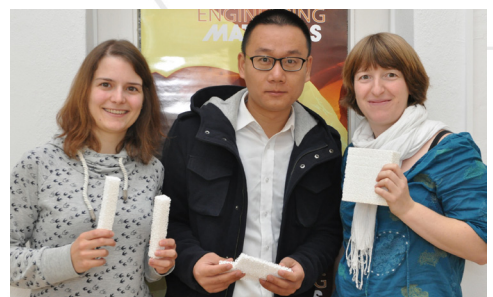


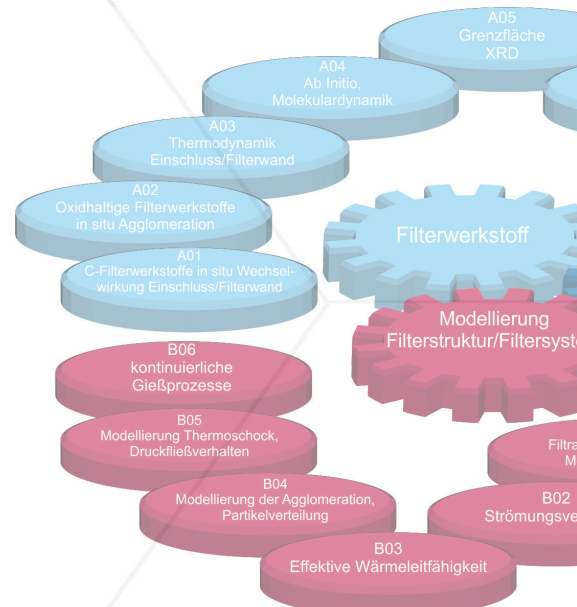
Foto: Junfeng Chen (Mitte) aus Wuhan/China mit Anne Schmidt (li.) und Claudia Voigt (re.).

AUS DEN ARBEITSGRUPPEN

Die Forschungsarbeiten im SFB 920 werden von vier Arbeitsgruppen getragen. Sie sichern eine problemorientierte Arbeitsweise, eine enge Vernetzung der Teilprojekte und einen intensiven Austausch zwischen allen Beteiligten. Die Verantwortung zur Koordinierung der Arbeitsgruppen übernehmen Nachwuchswissenschaftler - ein aktiver Beitrag des SFB zur frühzeitigen Förderung junger Wissenschaftler in einer eigenständigen Arbeitsweise sowie von Team- und Führungsfähigkeiten.

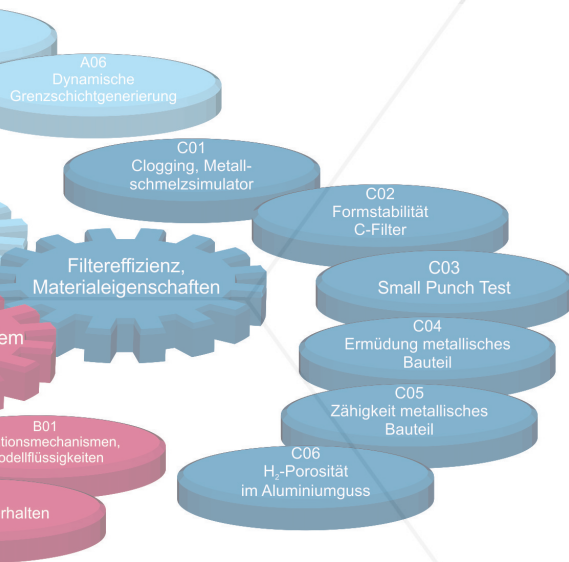
Arbeitsgruppe 1: „Metallschmelze, Einschlüsse, aktiver/reaktiver Filterwerkstoff, Grenzflächendesign“ (Leitung: Dipl.-Ing. Claudia Voigt)

- Fingertestversuche im Stahlguss-simulator an prismatischen Proben aus kohlenstoffgebundenen Al_2O_3 -Filtern mit gradiertem Aufbau (A01),
- Anwendung der Elektrophorese zur Beschichtung von Aluminiumschäumen (A02),
- Untersuchungen von Aluminium und AISi7Mg-Legierung unter Vakuum mittels Differentialthermoanalyse (A03),
- Berechnungen der Wärmekapazität für stabile Strukturen im System Al_5Fe_2 sowie Bereitstellung der Gleichungen zur Berechnung der Oberflächenenergien unter Berücksichtigung aufgebrochener Atombindungen (A04),
- Untersuchungen von AISi7Mg Schmelze in Kontakt mit SiO_2 , Mullit und metastabilem Al_2O_3 durch Aufschmelzversuche in der SPS (A06),
- Untersuchungen zum Einfluss des Gießsystemdesigns auf die Filtration (S03),
- Systematische Untersuchungen zur maximalen Auflösung von Filterstrukturen im Computertomograph (S01),
- Ermittlung der Manipulationsbedingungen für Nanopartikel während der Hochtemperaturuntersuchungen in einem Rasterkraftmikroskop (B01),
- Untersuchungen an rissauslösenden nichtmetallischen Einschlüssen in Stahlproben nach der Ultraschallermüdungsprüfung (C04).



Arbeitsgruppe 3: „Thermomechanische Eigenschaften der Filterwerkstoffe und Filterstrukturen“ (Leitung: Dipl.-Wi.-Ing. Yvonne Klemm)

- Bestimmung des E-Moduls gegossener Al_2O_3 -C-Stäbe anhand eines neuen Verfahrens (A01),
- Diskrepanz der mechanischen Eigenschaften von gepresstem und gegossenem Al_2O_3 -C-Material, Nutzung von Eigenschaften des gepressten Materials für die Entwicklung eines Materialgesetzes, bei Gelingen einer Herstellung rissfreier gegossener Proben in A01 erneuter Test dieser in C02 (B05),
- Suche nach einer Lösung für Problem der Planparallelität der Filter, CT-Aufnahmen der Filter (Weiterleitung an B05),
- Entwicklung eines Modellexperiments mit idealer Probe in Zusammenarbeit mit B05 und S01 (C02),
- aufgrund von Rissen in gegossenen Proben von A01 (bei Kleinstproben kein Einfluss für SPT) Anwendung eines neuen Herstellungsverfahrens für Kleinstproben mit Hilfe von Sprühschlicker in der Testphase (C03).



Arbeitsgruppe 2: „Modellierung und Auslegung der Filtergeometrie“ (Leitung: Dipl.-Ing. Eric Werzner)

- Herstellung und Validierung von Colloidal-Probe(Al_2O_3)-Cantilevern für die Hochtemperatur-Rasterkraftmikroskopie (B01),
- Durchführung direkter numerischer Simulationen der dreidimensionalen instationären Strömung in idealisierten Filterporen (B02),
- Entwicklung eines vereinfachten Modells zur Bestimmung der Abscheidewahrscheinlichkeit der Partikel im Filter (B02, B06),
- Analyse des Einflusses der Prozessparameter auf die Agglomerationseffizienz in homogener isotroper Turbulenz anhand theoretischer Berechnungen und numerischer Simulation (B04),
- Durchführung von CFD-Simulationen zur Untersuchung des Einflusses der Filterdurchlässigkeit auf die Filtrationsrate im Schmelztiegel des Stahlguss-Simulators (B06, C01),
- Generierung künstlicher Filterstrukturen auf Basis der Kelvin-Zelle unter Einhaltung geometrischer Parameter eines analysierten Keramikschlammes und Beurteilung der Übereinstimmung anhand effektiver Eigenschaften (B02, B03, B05),
- Numerische Untersuchung zur Vorwärmung der Luft durch die Schmelze und Kalibrierung des Hot Disk-Messsystems zur Bestimmung der effektiven Wärmeleitfähigkeit der Filter (B03),
- Implementierung eines Algorithmus zur in situ Kompression von Partikeln und Punktwolken für die TP B02 und B06 sowie Entwicklung eines Systems für die Visualisierung von in situ komprimierten Voxel-Daten mittels Volume-Rending (S02).

Arbeitsgruppe 4: „Mechanische Eigenschaften, metallische Werkstoffe, kritische Einschlüsse“ (Leitung: Dr.-Ing. Dominik Krewerth)

- Herstellung von neuem Probenmaterial des Vergütungsstahles G42CrMo4 (AISI 4140) im Stahlguss-Simulator (A01, C01, C04, C05), erstmaliger Einsatz neuartiger, in TP A01 entwickelter Metallschmelzefilter mit einer Beschichtung aus Carbon Nano Tubes (CNT) sowie, als Referenz, der bereits eingesetzten kohlenstoffgebundenen Al_2O_3 -C-Filter bei unterschiedlichen Eintauchzeiten im Stahlguss-Simulator,
- Weiterentwicklung der Thematik „Mikrostruktur der nichtmetallischen Einschlüsse“ durch Herrn Dipl.-Ing. Johannes Gleinig und Frau Birgit Witschel (C04, S01), mit dem Ziel der Charakterisierung der Bildungsmechanismen der nichtmetallischen Einschlusscluster und -agglomerate innerhalb des Gießmodells durch Tiefenätzen und Herauslösen der Einschlüsse,
- Planung neuer Gießversuche an AISi7Mg in Kooperation mit der Firma Constellium in Zusammenarbeit mit den Teilprojekten A02, C04, C05, S01 und S03.

REAKTIVE FILTER ZUR VERMEIDUNG VON H₂-POROSITÄT IM ALUMINIUMGUSS

Autorin: Beate Fankhänel
(Teilprojekt C06(N))

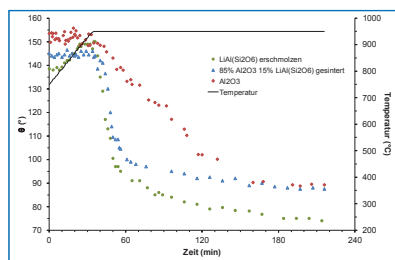


Abbildung 1: Kontaktwinkel als Funktion der Zeit für eine AlSi5Mg-Schmelze in Abhängigkeit vom Substrat.

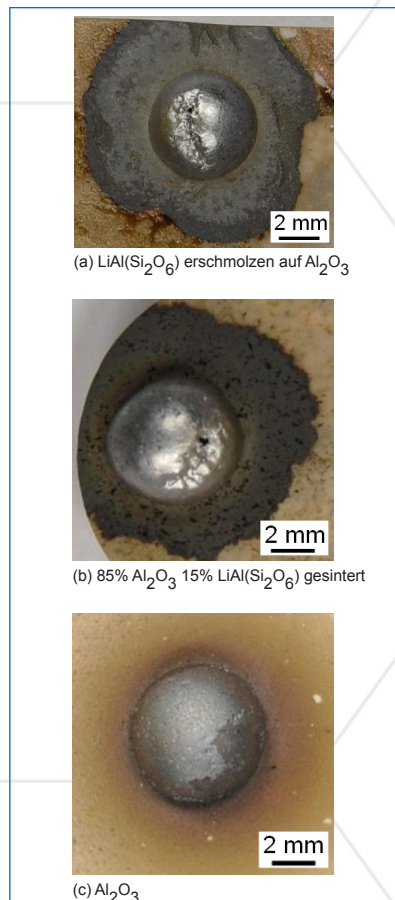


Abbildung 2: Aufnahmen eines liegenden AlSi5Mg-Schmelzetropfens auf spodumenhaltigen Substraten (a) und (b) und einer reinen Al₂O₃-Oberfläche (c).

Das neue Teilprojekt C06(N) wird die Wirkung neuer reaktiver Filtermaterialien auf der Basis von Spodumen zur Reduzierung unerwünschter H₂-Porosität untersuchen. In einer ersten Untersuchungsreihe konnte bereits der Einfluss des neuen Filterwerkstoffs auf das Benetzungsverhalten einer Aluminiumlegierung im Vergleich zu reinem Al₂O₃ gezeigt werden.

Beim Aluminiumguss führt neben oxidischen und anderen nichtmetallischen Einschlüssen in der Schmelze auch ein hoher Wasserstoffgehalt zu Defekten und unerwünschter Makroporosität in den Gussteilen. Dabei lassen Ergebnisse aus vorangegangenen Forschungsarbeiten [1] vermuten, dass eine alleinige Reduzierung der als Porenkeime wirkenden Oxide durch die Schmelzefiltration sogar zu größeren Porenradien im Gussteil führen kann. Somit würde nur ein angepasstes Verhältnis von im Gussteil vorhandenen Keimen (z.B. Oxide) und dem zur Ausscheidung bereitstehenden Wasserstoff zu einer Erniedrigung der Anzahl der Makroporen beitragen. Deshalb ist es sinnvoll, nicht nur unerwünschte Einschlüsse, die als Porenkeime wirken, aus der Schmelze zu entfernen, sondern gleichzeitig auch den Gehalt an in der Schmelze gelöstem Wasserstoff zu reduzieren.

Eine Lösung für dieses Problem kann der Einsatz reaktiver Filter sein. Bei optimaler Anwendung wird eine deutliche Reduktion sowohl der Porenanzahl als auch der Porengrößen in den gefertigten Gussteilen erwartet. Aus diesem Grund wird im neuen Teilprojekt C06 die Wirkung reaktiver Filtermaterialien auf der Basis von Spodumen LiAl(Si₂O₆) bei der Aluminiumschmelzefiltration eingehend untersucht. Umfassende Analysen zur Ermittlung der Reaktionskinetik zwischen Wasserstoff und LiAl(Si₂O₆) bilden die Grundlage dafür.

In einer ersten Untersuchungsreihe [2], bei der es um das Benetzungsverhalten einer AlSi5Mg-Legierung auf einem spodumenhaltigen Substrat ging, konnte festgestellt werden, dass im Vergleich zu einem reinen Al₂O₃-Substrat eine Spodumenoberfläche einen anderen Verlauf bei der Einstellung des Kontaktwinkels bedingt. Nicht nur der sich zunächst nach der vollständigen Ausbildung eines Schmelzetropfens einstel-

lende Kontaktwinkel ist in Anwesenheit von LiAl(Si₂O₆) erniedrigt, auch der Endwert verringert sich von 90° (Al₂O₃) auf 75° für geschmolzenes LiAl(Si₂O₆) (Abb. 1). Besonders interessant für die aktuellen Arbeiten ist jedoch der Verlauf der Benetzungskurven, d. h. der deutlich schnellere Abfall des Kontaktwinkels nach dem Erreichen der Mess-temperatur in Anwesenheit von Spodumen. Daraus ergibt sich die Vermutung, dass eine Reaktion zwischen der Metallschmelze und dem lithiumhaltigen Substrat stattfindet. Auch die Entwicklung der Tropfengeometrie während der Sessile-Drop Experimente spricht für diese Vermutung. Bei den anschließenden Untersuchungen wurde im Fall der spodumenhaltigen Substrate eine Zone rund um die liegenden Tropfen sichtbar, in der sich die Metallschmelze ausgebreitet hat. Hier kam es offenbar zu einer Reaktion zwischen der an der Tropfenoberfläche vorhandenen Oxidschicht und dem darunter befindlichen Metall mit dem LiAl(Si₂O₆), infolgedessen sich die Reaktionszone bilden konnte. Es konnte also deutlich schneller als im Fall des reinen Al₂O₃-Substrats ein Kontakt zwischen Metallschmelze und Substrat hergestellt werden. Damit könnte mit dem Aufbrechen der Oxidschicht auch der in der Schmelze gelöste Wasserstoff mit dem LiAl(Si₂O₆) reagieren. Ein mögliches Reaktionsprodukt dieser Oberflächenreaktion wäre dann Lithiumhydrid. Ein möglicher Hinweis darauf sind die an der Tropfenoberfläche vorhandenen kraterförmigen Einfallstellen. Im Fall des reinen Al₂O₃-Substrats wurden weder eine Reaktionszone noch eine Vertiefung auf der Tropfenoberfläche gefunden (Abb. 2). Grundlegende Untersuchungen zur Analyse der Reaktionsprodukte und zur Reaktionskinetik werden derzeit durchgeführt. ■

[1] Fankhänel, B., Stelter, M., Vogel, W., Klug, T. (2014): Optimierung der Eigenschaften von Aluminiumgussteilen durch homogene Verteilung von Mikroporen, World of Metallurgy – Erzmetall 67 (5), pp. 277-286.

[2] Fankhänel, B., Stelter, M., Voigt, C., Aneziris, C. G. (2015): Wettability of AlSi5Mg on spodumene, Metallurgical and Materials Transaction B 46 (3), pp. 1535-1541.

EINFLUSS DER CHEMIE DER FILTEROBERFLÄCHE AUF DIE FILTRATION VON ALUMINIUMSCHMELZE

Das Teilprojekt A02 befasst sich mit der Herstellung von Filtern mit unterschiedlichen Eigenschaften. In der ersten Periode des SFB 920 wurde unter anderem der Einfluss der Chemie der Filteroberfläche auf die Filtration mit Hilfe von Gießversuchen untersucht.

Im Teilprojekt A02 wurden Aluminiumoxid-Filter mit verschiedener oxidischer Oberflächenchemie aus Aluminiumoxid (Al_2O_3), Spinell (MgAl_2O_4), Mullit ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), Siliziumoxid (SiO_2) und Titandioxid (TiO_2) hergestellt und mit Hilfe von Abgussversuchen hinsichtlich der Filtrationswirkung getestet. Für die Filtrationstests wurden die fünf Filter mit der Legierung AlSi7Mg abgegossen. Für die Filtrationstests ist das Vorhandensein und die homogene Verteilung von nichtmetallischen Einschlüssen in der Schmelze erforderlich. Vorversuche zeigten, dass die Verwendung von Kreislaufmaterial aus der Produktion ein möglicher Weg ist. Für die Tests wurde eine Schmelze bestehend aus 50 % Barren- und 50 % Kreislauf-Material verwendet. Die Aluminiumlegierung (300 kg) wurde in einem elektrisch beheizten Ofen geschmolzen. Vor dem Abgießen wurde die Schmelze abgekrätzt, gereinigt und drei Minuten mit einem Impeller mit Argon homogenisiert und gereinigt. Der Abguss erfolgte bei einer Schmelzetemperatur von $740\text{ }^\circ\text{C}$ in eine kombinierte Stahl- und Grünsandform. Die vertikale Gießform mit Speiser bestand aus Stahl 42CrMo und hatte einen Durchmesser von 60 mm und einer Höhe von 165 mm. Der Einguss sowie der vertikale und der horizontale Gießkanal wurden aus Grünsand geformt. Die Gießversuche wurden erfolgreich für alle fünf Filter mit unterschiedlicher Oberflächenchemie durchgeführt. Es traten keine Kaltläufe oder Filterbrüche auf. Die Metallzusammensetzung wurde mit einem Funkenspektrometer Bruker Tasman T4 bestimmt. Dabei wurden keine signifikanten Unterschiede in der Metallchemie zwischen einer ohne Filter abgegossenen Probe und den verschiedenen mit Filter abgegossenen Proben festgestellt. Die abgegossenen Filter wurden mit Hilfe des Rasterelektronenmikroskops Philips XL 30 und der energiedisper-

siven Röntgenspektroskopie bezüglich der Menge (Anzahl und Größe) und der Qualität (Chemie) der detektierbaren nichtmetallischen Einschlüsse bewertet (siehe Tab. 1). Jeder Filter wurde an drei Positionen (am Einlauf, in der Mitte und am Auslauf aus dem Filter) untersucht. Für jede Position und für jeden Filtertyp wurde eine Fläche von $3\text{ mm} \times 2,3\text{ mm}$ im Rasterelektronenmikroskop im Rückstreuerelektronenmodus abgerastert und die chemische Zusammensetzung der dabei detektierten Einschlüsse bestimmt. Die Menge der Einschlüsse im Bereich des Einlaufs ist höher als in der Mitte und im Auslauf des Filters. Ein Grund für diese Beobachtung ist eine Art Kuchenfiltration des keramischen Filters. Eine Ausnahme ist der SiO_2 -Filter, der eine höhere Anzahl von Einschlüssen am Einlauf und am Auslauf als in der Mitte des Filters zeigt. Die höchste Anzahl von Einschlüssen wurde im MgAl_2O_4 -Filter, gefolgt vom Al_2O_3 -Filter gefunden. Entsprechend der Anzahl der Einschlüsse sind der SiO_2 - und der $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ -Filter untereinander vergleichbar. Der TiO_2 -Filter besitzt die geringste Anzahl detektierter Einschlüsse. Ein Zusammenhang zwischen der Chemie der detektierten Einschlüsse und der Chemie der Filteroberfläche konnte bisher nicht gefunden werden. Die chemische Zusammensetzung der detektierten Einschlüsse war bei allen Filtern annähernd gleich. ■

Autoren: Claudia Voigt, Beate Fankhänel, (Teilprojekt A02)

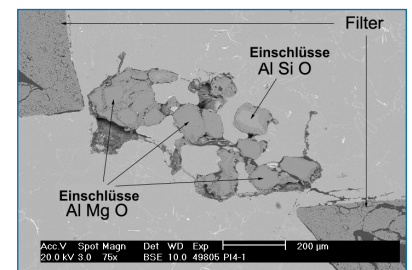


Abbildung 1: REM-Aufnahme des Al_2O_3 -Filters und hängengebliebene Einschlüsse unterschiedlicher Chemie.

| Filter | Al_2O_3 | MgAl_2O_4 | $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ | TiO_2 | SiO_2 |
|----------------|-------------------------|---------------------------|--|----------------|----------------|
| Einlauf | | | | | |
| Partikelanzahl | 68 | 101 | 39 | 15 | 40 |
| Al Si O | 24 | 7 | 1 | 1 | 1 |
| Si O | 2 | 6 | 34 | 14 | |
| Al Mg O | 35 | 52 | 1 | | 37 |
| Al O | 7 | 36 | 3 | | 2 |
| Mitte | | | | | |
| Partikelanzahl | 77 | 32 | 2 | 1 | 2 |
| Al Si O | 1 | 8 | 1 | | 1 |
| Si O | 74 | | | | |
| Al Mg O | | 12 | 1 | | |
| Al O | 2 | 12 | | 1 | 1 |
| Auslauf | | | | | |
| Partikelanzahl | 7 | 2 | 1 | 6 | 19 |
| Al Si O | | 1 | 1 | 1 | 2 |
| Si O | | | | | 1 |
| Al Mg O | 5 | 1 | | 5 | 15 |
| Al O | 2 | | | | 1 |

Tabelle 1: Überblick über die in den abgegossenen Filtern detektierten Einschlüsse, deren chemische Zusammensetzung und Anzahl.

WECHSELWIRKUNGEN VON FILTERMATERIALIEN UND EINSCHLÜSSEN

Autoren: Lilit G. Amirkhanyan,
Christian Röder (Teilprojekt A04)

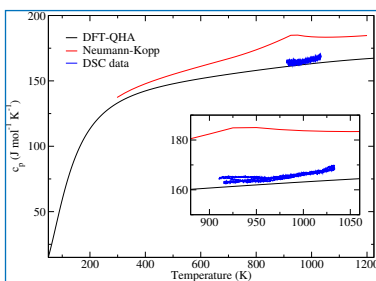


Abb. 1: Wärmekapazität für die intermetallische 14-Al-Fe-Si-Phase. Die blauen Datenpunkte wurde in A03 gemessen. Die Übereinstimmung mit den DFT-Rechnungen (schwarze Kurve) ist sehr gut.

(Bildquelle: Amirkhanyan, J., et al., J. of Alloys and Compounds 598 (2014) 137–141.)

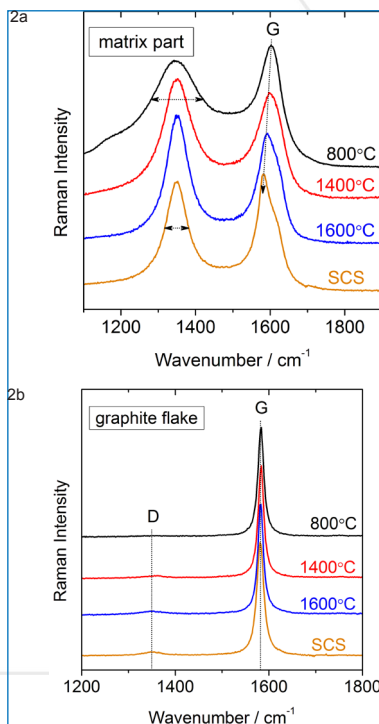


Abb. 2: Typische Ramanspektren von (a) der Matrix und (b) der Graphitkörner eines jeden Filtermaterials. Die Probe (orangefarbene Spektren) wurde in einem Stahlgussimulator (SCS) bei einer maximalen Temperatur von etwa 1600°C getestet. Zur besseren Übersichtlichkeit sind alle Spektren vertikal verschoben.

(Bildquelle: Röder et al., J. Raman Spectrosc. 45 (2014) 128-132.)

Teilprojekt A04 widmet sich der Vorhersage thermodynamischer Eigenschaften und der Aufklärung möglicher chemischer Reaktionen an den Filteroberflächen. Mittels ab-initio Methoden sollen thermodynamische, energetische und elastische Eigenschaften parameterfrei bestimmt werden. Theoretische Berechnungen schaffen die Grundlage für Optimierungen von Filterwerkstoffen.

Die ab-initio Berechnungen basieren auf der Dichtefunktionaltheorie (DFT), die eine Näherungslösung für die quantenmechanische Schrödingergleichung liefert. Mit Hilfe dieser Methode können beispielsweise die elektronische Struktur, Wechselwirkungsenergien, elastische Eigenschaften und Schwingungsspektren berechnet sowie Informationen zur chemischen Bindung abgeleitet werden. Die Kopplung von DFT mit molekuldynamischen Methoden ermöglicht es, die dynamische Stabilität von Grenzflächen oder Diffusionsprozesse zu beschreiben. Die berechnete Phononendispersion als Funktion des Kristallvolumens liefert den Zugang zur Entropie der Phononen. Damit ist es möglich, die Gibbsenergie in quasi-harmonischer Näherung zu berechnen. Leider ist der numerische Aufwand der quantenmechanischen Rechnungen sehr hoch, wodurch die Größe der zu untersuchenden Systeme limitiert ist.

Die Leistungsfähigkeit der ab-initio Vorhersage thermodynamischer Daten wurde für das Beispiel von intermetallischen Al-Fe-Si-Phasen in enger Zusammenarbeit mit Teilprojekt A03 demonstriert. In Abbildung 1 sind die experimentellen Messergebnisse der Wärmekapazität aus Teilprojekt A03 (blaue Symbole) mit der theoretischen Berechnung (schwarze Kurve) verglichen. Die Übereinstimmung der ab-initio Daten mit dem Experiment ist sehr gut. Die oft für Abschätzungen genutzte Neumann-Kopp-Regel (rote Kurve) nähert die experimentellen Daten dagegen nur schlecht an und ist damit für thermodynamische Modellierungen nicht genau genug. Der Hauptvorteil, den die DFT basierende Methode bietet, ist in der Möglichkeit zu sehen, thermodynamische Daten für Temperaturbereiche zu liefern, die experimentell schwer zu realisieren oder durch Phasenumwandlung nicht zugänglich sind.

Des Weiteren untersucht das Projekt experimentell verschiedene kristalline Phasen oder mit Kohlenstoff beschichtete Oberflächen mittels Ramanspektroskopie. Dies ist eine optische Methode, die zur Charakterisierung in der Materialforschung eingesetzt wird. Im Rahmen des SFB 920 werden metastabile Al_2O_3 -Phasen und kohlenstoffgebundene Filterwerkstoffe untersucht. Die Ramanspektroskopie ist prädestiniert, um Kohlenstoff in unterschiedlichen Modifikationen zu identifizieren und dabei von schnellen und zerstörungsfreien Messungen mit einer hohen lateralen Auflösung zu profitieren. Um die thermisch induzierten strukturellen Änderungen der neuartigen kohlenstoffgebundenen Filterwerkstoffe zu charakterisieren, wurden Mikro-Ramanmessungen an einer bei Temperaturen zwischen 800°C und 1600°C gebrannten Probenserie durchgeführt. Abbildung 2 zeigt die thermisch induzierten Veränderungen in den Ramanspektren. Einerseits zeigen die experimentellen Daten (Abb. 2b) erwartungsgemäß keinen Einfluss der thermischen Behandlung auf die Graphitkörner. Andererseits ist bei Messungen auf der Matrix des kohlenstoffgebundenen Filtermaterials (Abb. 2a) eine Verschiebung der G-Mode von 1602 cm^{-1} zu 1590 cm^{-1} mit steigender Temperatur zu beobachten. Mit zunehmender Temperatur nimmt die Halbwertsbreite der D-Mode ab, während deren Intensität leicht zunimmt.

Die Matrix des Filterwerkstoffes besteht hauptsächlich aus Aluminiumoxid und dem Kohlenstoffbinder Carbores®P. Die thermische Behandlung führt zu einer Verdunstung der flüchtigen Komponenten des Binders. Das Harz bildet eine graphitähnliche Struktur aus. Die durchschnittliche Größe der Graphitcluster konnte durch das Intensitätsverhältnis von G- und D-Mode bestimmt werden. Sie wächst geringfügig mit zunehmender Brenntemperatur der Keramik. ■

AKTUELLE PUBLIKATIONEN

Projektbereich A - Filterwerkstoffe

Teilprojekt A01

Emmel, M., Aneziris, C. G. (2015): Implementation of Novel Carbon Bonded Filter Materials for Steel Melt filtration – an Overview. *refractories worldforum*, Vol. 7, Iss. 1, pp. 73-82.

Storti, E., Emmel, M., Dudczig, S., Colombo, P., Aneziris, C. G. (2015): Development of multi-walled carbon nanotubes-based coatings on carbon-bonded alumina filters for steel melt filtration. *Journal of European Ceramic Society*, Vol. 35, Iss. 5, pp. 1569-1580, DOI 10.1016/j.jeurceramsoc.2014.11.026.

Moritz, K., Aneziris, C. G. (2015): Electrophoretic method for fabricating porous materials – application to different oxide materials. 5th International Conference on Electrophoretic Deposition: Fundamentals and Applications, Herstein (Austria), *Key Engineering Materials*, Vol. 654, pp. 101-105, DOI 10.4028/www.scientific.net/KEM.654.101.

Teilprojekt A02

Moritz, K., Ballaschk, U., Schmidt, G., Hubálková, J., Aneziris, C. G. (2015): Oxide ceramics with unidirectional pore channels by electrophoretic deposition. *Journal of the European Ceramic Society*, Vol. 36, Iss. 2, pp. 333-341, DOI 10.1016/j.jeurceramsoc.2015.07.006.

Sarkar, N., Park, J. G., Mazumder, S., Aneziris, C. G., Kim, I. J. (2015): Processing of particle stabilized Al_2TiO_5 - $ZrTiO_4$ foam to porous ceramics. *Journal of the European Ceramic Society*, Vol. 35, Iss. 14, pp. 3969-3976, DOI 10.1016/j.jeurceramsoc.2015.07.004.

Sarkar, N., Park, J. G., Mazumder, S., Pokhrel, A., Aneziris, C. G., Kim, I. J. (2015): Al_2TiO_5 -mullite porous ceramics from particle stabilized wet foam. *Ceramics International*, Vol. 41, Iss. 4, Part A, pp. 6306-6311, DOI 10.1016/j.ceramint.2015.01.056.

Sarkar, N., Park, J. G., Mazumder, S., Pokhrel, A., Aneziris, C. G., Kim, I. J. (2015): Effect of Amphiphile Chain Length on Wet Foam Stability of Porous Ceramics. *Ceramics International*, Vol. 41, Iss. 3, Part A, pp. 4021-4027, DOI 10.1016/j.ceramint.2014.11.089.

Sarkar, N., Park, J. G., Mazumder, S., Pokhrel, A., Aneziris, C. G., Kim, I. J. (2015): Influence of amphiphile on foam stability of Al_2O_3 - SiO_2 colloidal suspension to porous ceramics. *Journal of Ceramic Processing Research*, Vol. 16, Iss. 4, pp. 392-396.

Voigt, C., Aneziris, C. G., Hubálková, J. (2015): Rheological characterization of slurries for the preparation alumina foams via replica technique. *Journal of the American Ceramic Society*, Vol. 98, Iss. 5, pp. 1460-1463, DOI 10.1111/jace.13522.

Voigt, C., Fankhänel, B., Jäckel, E., Aneziris, C. G., Stelter, M., Hubálková, J. (2015): Effect of the filter surface chemistry on the filtration of aluminum. *Metallurgical and Materials Transactions B*, Vol. 46, Iss. 2, pp. 1066-1072, DOI 10.1007/s11663-014-0232-7.

Teilprojekt A03

Dreval, L., Zienert, T., Fabrichnaya, O. (2015): Calculated phase diagrams and thermodynamic properties of the Al_2O_3 - Fe_2O_3 - FeO system. *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 657, pp. 192-214, DOI 10.1016/j.jallcom.2015.10.017.

Zienert, T., Dudczig, S., Fabrichnaya, O., Aneziris, C. G. (2015): Interface reactions between liquid iron and alumina-carbon refractory filter materials. *Ceramics International*, Vol. 41, Iss. 2, Part A, pp. 2089-2098, DOI 10.1016/j.ceramint.2014.10.004.

Zienert, T., Fabrichnaya, O. (2015): Interface reactions between steel 42CrMo4 and mullite. *Journal of the European Ceramic Society*, Vol. 35, Iss. 4, pp. 795-802, DOI 10.1016/j.jeurceramsoc.2014.10.033.

Teilprojekt A04

Amirkhanyan, L., Weissbach, T., Kortus, J. (2015): Surface energy, structure and stability of crystalline corundum surfaces. *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft e.V. - DPG*, March 15-20, 2015, Berlin.

Teilprojekt A05

Dopita, M., Emmel, M., Salomon, A., Rudolph, M., Metej, Z., Aneziris, C. G., Rafaja, D. (2015): Temperature evolution of microstructure of turbostratic high melting coal-tar synthetic pitch studied using wide-angle X-ray scattering method. *Carbon*, Vol. 81, pp. 272-283, DOI 10.1016/j.carbon.2014.09.058.

Teilprojekt A06

Salomon, A., Emmel, M., Dopita, M., Dudczig, S., Aneziris, C. G., Rafaja, D. (2015): Reaction mechanism between the carbon bonded magnesia coatings deposited on carbon bonded alumina and a steel melt. *Journal of the European Ceramic Society*, Vol. 35, Iss. 2, pp. 795-802, DOI 10.1016/j.jeurceramsoc.2014.09.033.

Projektbereich B - Modellierung Filterstruktur/Filterssystem

Teilprojekt B01

Heuzeroth, F., Fritzsche, J., Wertzner, E., Mendes, M. A. A., Peuker, U.A., Ray, S., Trimis, D.: Viscous force - An important parameter for the modelling of deep bed filtration in liquid media. *Powder Technology*, Vol. 283, pp. 190-198, DOI 10.1016/j.powtec.2015.05.018.

Teilprojekt B03

Vijay, D., Goetze, P., Wulf, R., Gross, U. (2015): Forced convection through open cell foams based on homogenization approach: Steady state analysis. *International Journal of Thermal Science*, Vol. 98, pp. 381-394, DOI 10.1016/j.ijthermalsci.2015.07.017.

Vijay, D., Goetze, P., Wulf, R., Gross, U. (2015): Forced convection through open cell foams based on homogenization approach: Transient analysis. *International Journal of Thermal Science*, Vol. 98, pp. 395-408, DOI 10.1016/j.ijthermalsci.2015.07.013.

Teilprojekt B04

Fritzsche, J., Peuker, U. A. (2015): Wetting and adhesive forces on rough surfaces - An experimental and theoretical study. In: *The 7th World Congress on Particle Technology (WCPT7)*, Beijing, China. *Procedia Engineering*, Vol. 102, pp. 45-53, DOI 10.1016/j.proeng.2015.01.105.

Saboor Bagherzadeh, E., Dopita, M., Mütze, T., Peuker, U. A. (2015): Morphological and structural studies on Al reinforced by Al_2O_3 via mechanical alloying. *Journal of Advance Powder Technology*, Vol. 26, Iss. 2, pp. 487-493, DOI 10.1016/j.appt.2014.12.002.

Teichmann, J., v. d. Boogaart, K. G. (2015): Cluster models for random particle aggregates - Morphological statistics and collision distance. *Spatial Statistics*, Vol. 12, pp. 65-80, DOI 10.1016/j.spasta.2015.03.002.

Teilprojekt B05

Storm, J., Abendroth, M., Kuna, M. E., Aneziris, C. G. (2015): Influence of curved struts, anisotropic pores and strut cavities on the effective elastic properties of open-cell foams. *Mechanics of Materials*, Vol. 86, pp. 1-10, DOI 10.1016/j.mechmat.2015.02.012.

Zhang, D., Abendroth, M., Kuna, M. E., Storm, J. (2015): Multi-axial brittle failure criterion using Weibull stress for open Kelvin cell foams. *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 75-76, pp. 1-11, DOI 10.1016/j.ijsolstr.2015.04.020.

Storm, J., Abendroth, M., Kuna, M. E., Aneziris, C. G. (2015): Influence of curved struts, anisotropic pores and strut cavities on the effective elastic properties of open-cell foams. *Mechanics of Materials*, Vol. 86, pp. 1-10, DOI 10.1016/j.mechmat.2015.02.012.

Teilprojekt B06(N)

Asad, A., Kratzsch, C., Schwarze, R. (2015): Numerical study of the fluid flow and the free surface behavior in a model mold. Stellsim 2015 - 6th International Conference on Modelling and Simulation of Metallurgical Processes in Steel-making, Session Casting and Solidification III, Bardolino, Garda Lake, Italy.

Asad, A., Kratzsch, C., Schwarze, R. (2015): Application of the discrete phase model in metallurgical processes. 14th Workshop on Two-Phase Flow Predictions, 07. – 10. 09.2015, MLU Halle-Wittenberg.

Kratzsch, C., Timmel, K., Eckert, S., Schwarze, R. (2015): URANS Simulation of Continuous Casting Mold Flows: Assessment of Revised Turbulence Models. Steel Research International, Vol. 86, Iss. 4, pp. 400-410, DOI 10.1002/srin.201400097.

Schwarze, R., Haubold, D., Kratzsch, C. (2015): Numerical study of effects of pour box design on tundish flow characterisation. Ironmaking and Steelmaking, Vol. 42, Iss. 2, pp. 148-153, DOI 10.1179/1743281214Y.0000000221.

Projektbereich C - Filtereffizienz, Materialeigenschaften**Teilprojekt C01**

Storti, E., Dudczig, S., Schmidt, G., Colombo, P., Aneziris, C. G. (2015): Short-time performance of MWCNTs-coated Al_2O_3 -C filters in a steel melt. Journal of the European Ceramic Society, accepted: 25.10.2015, DOI 10.1016/j.jeurceramsoc.2015.10.036.

Teilprojekt C04

Krewerth, D., Lippmann, T., Weidner, A., Biermann, H. (2015): Application of full-surface view in situ thermography measurements during ultrasonic fatigue of cast steel G42CrMo4. International Journal of Fatigue, Vol. 80, pp. 459-467, DOI 10.1016/j.ijfatigue.2015.07.013.

Teilprojekt C05

Henschel, S., Krüger, L. (2015): Charakterisierung der dynamischen Rissinitiierung mittels eines Split-Hopkinson Pressure Bar. In: P. Hübner (Hg.): 47. Tagung des DVM-Arbeitskreise Bruchvorgänge. Bruchmechanische Werkstoff- und Bauteilbewertung: Beanspruchungsanalyse, Prüfmethode und Anwendungen. Freiberg, 10.–11. Februar. Berlin: Deutscher Verband für Materialforschung und -prüfung e.V. (DVM-Bericht, 247), S. 143–152, ISSN 1616-4687.

Henschel, S., Krüger, L. (2015): Crack initiation at high loading rates applying the four-point bending split Hopkins pressure bar technique, DYMAT 2015 - 11th International Conference on the Mechanical and Physical Behaviour of Materials under Dynamic Loading, Lugano, Switzerland, September 07-11, 2015, in: EPJ Web of Conferences 94, p. 01028, DOI 10.1051/epj-conf/20159401028.

Henschel, S., Krüger, L. (2015): Modelling of crack initiation in a G42CrMo4 steel with non-metallic inclusions. Steel Research International, Vol. 86, Iss. 4, DOI 10.1002/srin.201400567.

Henschel, S., Krüger, L. (2015): Dynamic crack initiation measurements in a four-point split Hopkinson bending device. Engineering Fracture Mechanics, Vol. 133, pp. 62–75. DOI 10.1016/j.engfractmech.2015.05.020.

Henschel, S., Krüger, L. (2015): Deflection measurement in low-blow Charpy impact tests, MP Materials Testing 57 (10), pp. 837-842, DOI 10.3139/120.110785.

Henschel, S., Krüger, L. (2015): Effect of inhomogeneous distribution of non-metallic inclusions on crack path deflection in G42CrMo4 steel at different loading rates. Fracture and Structural Integrity 34, pp. 326-333, DOI 10.3221/IGF-ESES.34.35.

Teilprojekt C06(N), Vorleistung

Fankhänel, B., Stelter, M., Voigt, C., Aneziris, C. G. (2015): Wettability of AISi5Mg on spodumene, Metallurgical and Materials Transaction B, Vol. 46, Iss. 3, pp. 1535-1541, DOI 10.1007/s11663-015-0307-0.

KONFERENZEN UND CALLS FOR PAPERS

2. Doktorandentreffen und 2. Mitgliederversammlung in der 2. Förderperiode des SFB 920: 26./27.11.2015, TU Bergakademie Freiberg.

India International Refractories Congress IREFCON 2016: 20.-22.01.2016, Hyderabad (Indien), weitere Informationen unter <http://irefcon.org>.

91. DKG Jahrestagung & Symposium Hochleistungskeramik 2016: 07.-09.03.2016, TU Bergakademie Freiberg, weitere Informationen unter: <http://www.2016.dkg.de>.

6. International Congress on Ceramics - ICC 6: 21.-25.08.2016, Dresden, weitere Informationen unter: <http://www.icc-6.com>.

Materials Science and Engineering MSE 2016: 27.-29.09.2016, Darmstadt, weitere Informationen unter: <http://www.mse-congress.de>.

FILTECH 2016: 11.-13.10.2016, Köln, weitere Informationen unter <http://www.filtech.de/>.

CellMat 2016: 07.-09.12.2016, Dresden, weitere Informationen unter <http://cellmat.dgm.de/home>.

IMPRESSUM**HERAUSGEBER**

Prof. Dr.-Ing. habil. Christos G. Aneziris
Sprecher des SFB 920
TU Bergakademie Freiberg
Institut für Keramik, Glas- und Baustofftechnik
Agricolastraße 17, 09599 Freiberg
Telefon: +49 3731 39 2505
Telefax: +49 3731 39 2419
E-Mail: aneziris@ikgb.tu-freiberg.de

Dr.-Ing. Undine Fischer
Geschäftsführung des SFB 920
TU Bergakademie Freiberg
Institut für Keramik, Glas- und Baustofftechnik
Agricolastraße 17, 09599 Freiberg
Telefon: +49 3731 39 3324
Telefax: +49 3731 39 2419
E-Mail: undine.fischer@ikgb.tu-freiberg.de

REDAKTION

Prof. Dr. habil. Anja Geigenmüller
TU Ilmenau
Fakultät Wirtschaftswissenschaften & Medien
Fachgebiet Marketing
Helmholtzplatz 3, 98693 Ilmenau
Telefon: +49 3677 69 4085
Telefax: +49 3677 69 4223
E-Mail: anja.geigenmueller@tu-ilmenau.de

FOTOS

TU Bergakademie Freiberg, SFB 920 „Multifunktionale Filter für die Metallschmelzefiltration - ein Beitrag zu Zero Defect Materials“, Detlev Müller

AUSGABE: Nr. 9, Heft 02/2015

ERSCHEINUNGSWEISE: halbjährlich

