

Tagung des Fachausschusses Leichtmetalle der GDMB in Essen/Gelsenkirchen 2017

Bericht von Rudolf P. Pawlek

Zur Tagung des Fachausschusses Leichtmetalle konnte der Leiter des Fachausschusses Dipl.-Ing. Michael Schwalbe mehr als 20 Teilnehmer und Gäste begrüßen. Die Tagung fand auf Einladung von TRIMET Aluminium am 11. und 12. September 2017 in Essen und Gelsenkirchen statt.

1 Wissenswertes über die TRIMET Aluminium

Nach der offiziellen Begrüßung stellt Dr.-Ing. Andreas Lützerath, Werksleiter der TRIMET Aluminium SE Essen, die Gesellschaft vor. Die TRIMET Aluminium SE in Essen ist seit mehr als 30 Jahren am Markt.

Die TRIMET Aluminium SE hat ihren Umsatz und das Ergebnis in einem volatilen Marktumfeld bestätigt und Voraussetzungen für langfristiges Wachstum geschaffen. Das Familienunternehmen erzielte im Geschäftsjahr 2016/17 (30. Juni) einen Umsatz von rund 1,24 Mrd. €. Die 1600 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter produzierten rund 625 000 t Primär- und Recyclingaluminium in den Produktkategorien Flüssigmetall, Walz- und Pressbarren sowie Gusslegierungen in Form von Masseln.

Meilensteine in der Geschichte der TRIMET am Standort Essen waren: Grundsteinlegung des Essener Werkes 1969, beginnende Schließung des Werkes durch die damalige Alusuisse 1992, Übernahme durch die TRIMET 1994, Wiederaufbau und Inbetriebnahme der Elektrolysehalle 3 im Jahr 1998. In der Gießerei nahm 2003 die erste Horizontale Stranggießanlage die Produktion auf, 2015 beginnt die Horizontale Stranggießanlage zwei den Betrieb und mit dem Start des neuen Jahres 2018 wird eine zweite kontinuierliche Homogenisierungsanlage für Pressbarren den Betrieb aufnehmen und damit die Homogenisierungskapazität auf ca. 130 000 t/a erhöhen. In Summe verfügt die Gießerei der TRIMET Aluminium in Essen über eine Kapazität von 300 000 t/a.

2017 wird Essen zur Grünen Hauptstadt Europas ernannt und TRIMET beteiligt sich als Förderer der Grünen Hauptstadt u.a. auch mit dem Projekt „Virtuelle Batterie“.

Zudem bekennt sich TRIMET zum Industriestandort Deutschland und übernimmt als Familienunternehmen gesellschaftliche Verantwortung. Dazu gehört die Ausbildung junger Menschen für eine langfristige Berufsperspektive. Seit der Gründung des Unternehmens im Jahr 1985 hat TRIMET mehr als 600 junge Menschen in technischen und kaufmännischen Berufen ausgebildet. In Essen absolvieren derzeit 45 junge Menschen ihre Ausbildungen im tech-

nischen und kaufmännischen Bereich. An den acht Produktionsstandorten des Familienunternehmens bereiten sich derzeit insgesamt 179 Auszubildende auf ihren Beruf vor. Neben dem herkömmlichen Ausbildungsprogramm eröffnet TRIMET mit Programmen zur Einstiegsqualifikation auch potenziellen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern die Chance auf eine langfristige Berufskarriere, deren Qualifikation für eine reguläre Ausbildung zunächst noch nicht ausreicht. Hierzu zählen auch Flüchtlinge aus Kriegsregionen, die in Deutschland eine neue Heimat gefunden haben. In den kommenden Jahren will TRIMET insgesamt 66 Flüchtlingen mit einem Ausbildungsplatz eine Berufsperspektive bieten und damit die Basis für eine erfolgreiche Integration in die Gesellschaft legen. Im Rahmen des TRIMET-Projektes „Berufsbildung für Flüchtlinge“ werden die Teilnehmer bei Bedarf zunächst in Sprachkursen und durch Fachkundeunterricht auf ihre Ausbildung bei dem Werkstoffspezialisten vorbereitet.

Für diese Aufgaben wurde das Ausbildungszentrum der TRIMET am Standort Essen grundlegend erneuert und erweitert. Es bietet jetzt 50 Auszubildenden und ihren Ausbildern Platz. Die vergrößerte Ausbildungswerkstatt verfügt über drei Fräsmaschinen, zwei Universal Drehmaschinen sowie drei Gruppenwerkbänke und neue Werkbänke mit insgesamt 36 Schraubstockarbeitsplätzen, an denen die Auszubildenden manuelle Fertigkeiten erlernen (Abbildung 1). Im Werkstattbereich für thermische Fügeverfahren wurden fünf neue Schweißkabinen installiert. Deutlich vergrößert wurden zudem die Schulungs- und Pausenräume, die mit modernster Präsentations- und Kommunikationstechnik ausgestattet sind. Diese wurden auch im Rahmen der Tagung des Leichtmetallfachausschusses der GDMB genutzt.



Abb. 1: Flüchtlinge werden auf ihre Ausbildung bei TRIMET vorbereitet

2 Vorträge

Den Vortragskreis begann Dr. Till Reek, Werksleiter vom TRIMET Aluminium Werk Voerde. Er berichtete über **Kurzschluss in der Stromversorgung der Hütte in Essen im April 2016**. Am 12. April 2016 löste ein Rauchalarm in der Stromversorgung einen Notstopp für alle drei Elektrolysehallen aus. Der Rauchalarm wurde von einem Kurzschluss an einer 21-kV-Stromschiene verursacht. Während die Stromversorgung in den Ofenhallen II und III innerhalb von zwei Stunden wieder gesichert werden konnte, musste die defekte Stromschiene ersetzt werden. Dabei wurde Ofenhalle I vom Hochspannungsnetz getrennt und an einen einfachen 220-kV-Transformator angehängt. Als Ofenhalle I wieder angeschlossen werden konnte, wurde ein Fehler in der Isolation des 220-kV-Umspanners festgestellt. Eine Notstromschiene wurde eingeschweißt und Ofenhalle I konnte nach 5 h 50 min 30 s wieder mit Strom versorgt werden. Dank der sofort eingeleiteten Maßnahmen stellte sich kein Elektrolyseofenverlust ein. Der Betrieb aller Öfen war 11 Stunden nach der neuerlichen Stromzufuhr stabil und nach vier Tagen war die Badtemperatur wieder normal. Für den Erfolg hatten sich die folgenden Hauptpunkte als kritisch erwiesen:

Während des Stromausfalls

- ein Notfallteam zusammenstellen und die sachdienlichen Informationen vermitteln,
- Wärme in den Elektrolyseöfen halten,
- die Elektrolyseöfen nicht berühren,
- für alle Eventualitäten vorbereitet sein solange Zeit dafür vorhanden ist (Notfallabstell-Team, Logistik, Ansprechpartner),
- Flüssigfluss bereitstellen,
- heiße Anoden bereitstellen,
- Arbeit verteilen und verantwortliche Personen bestimmen,
- die Leute ihre Arbeit machen lassen,
- Vorsichtsmaßnahmenpläne erstellen.

Während der Wiederinbetriebnahme

- Tonerdezufuhr blockieren,
- automatisches Anodeneffektlöschchen blockieren,
- Anodenbäume während einer Sekunde vibrieren, wenn der Strom zurückkommt.

Schließlich muss erwähnt werden, dass eine derartige Krisensituation nur gemeistert werden kann, wenn das gesamte Hallenpersonal Hand in Hand arbeitet, damit irgendwelche Eventualitäten sofort gelöst werden können.

Es folgte ein Bericht von Dr. Roman Tatura, analyticon instruments GmbH, über **Vorort-Analyse von Leichtmetallen mit handgehaltenen Spektrometern**. Die großen Vorteile mobiler Legierungsanalysatoren sind ihre Mobilität und die Möglichkeit zur Analyse vor Ort.

Die Systeme sind bereits wenige Sekunden nach dem Einschalten messbereit. Da das Ergebnis sofort vorliegt kann eine hohe Stichprobenanzahl untersucht werden, wodurch sich eine größere Sicherheit ergibt. Die Messgeräte sind



Abb. 2: Beispiele für handgehaltene Analysatoren mit RFA (links) und LIBS

praktisch wartungsfrei, einfach in der Handhabung und daher sehr anwenderfreundlich. Diese Vorteile sichern eine hohe Wirtschaftlichkeit. Mit handgehaltenen Analysatoren sind derzeit Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) und laserinduzierte Plasmaspektroskopie (LIBS) möglich (Abbildung 2). In größeren beweglichen Systemen sind optische Emissionsspektrometer (OES) verfügbar.

RFA-Geräte bestehen hauptsächlich aus Stromquelle (Akku), Röntgenröhre, Detektor, Prozessor, Speicher und Datenanzeige. Unabhängig von ihrer Basis sind alle gängigen Legierungen und auch untypische Legierungszusammensetzungen mit RFA-Geräten analysierbar. Beispielsweise lässt sich schnell ermitteln, ob Grenzwerte wie Fe, Cr und Ti in Al oder Fe in Ti eingehalten werden. Aber auch LM-Legierungen können schnell identifiziert und von ähnlichen Legierungen unterschieden werden. Zudem kann eine Anhaftung oder Beschichtung überprüft werden. RFA-Geräte eignen sich zur Charakterisierung von Aluminium-Schrotten, da neben den schweren Elementen auch die leichten Elemente wie Mg, Al und Si messbar sind.

Die Stärken der RFA liegen in der Erzielung sehr präziser und genauer Resultate. Legierungsbestandteile lassen sich bereits im ppm-Bereich feststellen (abhängig vom Element). Selbst bei schwierigen Probengeometrien wie starke Rundungen, Gitter, Pulver, Späne oder Shreddermaterial sind die Ergebnisse aussagekräftig. Die Methode ist absolut zerstörungsfrei und zudem durch unterschiedliche Kalibrierung äußerst vielseitig. Der Einsatz handgehaltener RFA-Geräte ist nur limitiert, wenn sehr niedrige Nachweisgrenzen leichter Elemente wie Mg oder Si erreicht werden sollen. Die ultraleichten Elemente Be und Li können mit RFA nicht gemessen werden. Zur Analyse leichter Elemente ist oftmals – insbesondere bei Al-Legierungen – eine längere Messdauer und eine geringe Probenvorbereitung (Entfernen der Oxidschicht) erforderlich. Die Nutzung von RFA-Geräten erfordert zudem einen Strahlenschutzbeauftragten im Betrieb. Ferner sind die Geräte genehmigungspflichtig.

Handgehaltene Analysatoren basierend auf laserinduzierter Plasmaspektroskopie (LIBS) sind seit 2013 erhältlich. Laserintensität, Pulsrate und Detektor bestimmen die Analysemöglichkeiten und -qualität in Abhängigkeit von der Basislegierung. Al-, Mg-, Fe-, Ni- und Cu-Basislegierungen sind sehr gut analysierbar.

Die Stärken der LIBS-Technologie liegen besonders in der sehr kurzen Analysendauer von nur ein bis zwei Sekunden, den sehr niedrigen Nachweisgrenzen für Mg und Si sowie den Möglichkeiten, Li in Al und Be in Cu zu analysieren. Ferner ist keine Probenvorbereitung erforderlich, da der Laser die Oxid- oder Korrosionsschicht durchbrennt. Für den Betrieb wird ein Laserschutzbeauftragter benötigt, allerdings ist keine Genehmigung erforderlich. Durch Verzicht auf Röntgenstrahlung kann die Probe während des Messens in der Hand gehalten werden, was das Handling vereinfacht. Der Einsatzschwerpunkt von LIBS liegt im Metallrecycling und der Verwechslungsprüfung im Wareneingang metallverarbeitender Betriebe.

Im Vergleich zu RFA-Analysatoren sind mobile LIBS-Geräte weniger vielseitig. Es können ausschließlich Metalle analysiert werden und nicht alle Legierungen sind gleich gut analysierbar. Elemente höherer Ordnungszahlen wie Pb, Sn oder W lassen sich nur schwer ins Plasma überführen. Außerdem ist das Messfenster kleiner, weshalb diese Elemente weniger präzise quantifiziert werden als mit der RFA. Weiterhin bestehen Einschränkungen bei stark verformten Proben, da sich das Material unmittelbar im Fokus des Lasers befinden muss. Zusammenfassend lässt sich festhalten: viele analytische Fragestellungen lassen sich mit handgehaltenen Analysatoren bearbeiten. Dabei sind Mobilität, Bedienbarkeit und geringe Anschaffungskosten sehr vorteilhaft. RFA- und LIBS-Technologie haben Stärken und Schwächen, weshalb eine individuelle Beratung erforderlich ist.

Analyticon instruments bietet als deutscher Marktführer für handgehaltene Analysatoren beide Technologien an. Dadurch kann der Interessent die Vor- und Nachteile für seine Anwendung gegeneinander abwägen und sich für das passende Spektrometer entscheiden.

Dipl.-Ing. Paul Ebenberger, Lehrstuhl für Nichteisenmetallurgie an der Montanuniversität Leoben, berichtete über **5xxx-Aluminiumlegierungen für Anwendungen im Kraftfahrzeugbau**.

5xxx-Aluminiumlegierungen besitzen folgende Eigenschaften: sie sind gut kalt verformbar, korrosionsbeständig, schweißbar und wirtschaftlich herstellbar. Derartige Legierungen sind jedoch wegen Verformungsflächen, welche durch Fließfiguren hervorgerufen werden, kaum für dekorative Anwendungen geeignet, also für Automobil-Außenteile. Mögliche Verbesserungen bieten sich durch Veränderung der Verformungstemperatur und -geschwindigkeit, der Legierungszusammensetzung sowie der thermomechanischen Behandlung.

Lüderslinien in 5xxx-Aluminiumlegierungen entstehen durch das Losreißen von Versetzungen, die zum einen an Korngrenzen aufgestaut und zum anderen durch Alterung mit Magnesium-Atomen gepinnt wurden, sobald eine kritische Spannung (Streckgrenze) erreicht wird. Die nun emittierten Versetzungen lösen lawinenartig das Losreißen in benachbarten Körnern aus. Flammenförmige (Lüders-) Linien breiten sich daraufhin über die Blechoberfläche aus. Die Ursache der dynamischen Reckalterung basiert gemäß der klassischen Lehrmeinung auf der

Interaktion zwischen mobilen und gealterten Versetzungen. Neuere Untersuchungen (CURTIN et al. 2006) konnten zeigen, dass einatomare Sprünge von Mg-Atomen durch den Versetzungskern vom Druck- hin zum Zugbereich des Spannungsfeldes um die Versetzung eine schlüssigere Erklärung liefern. Diese sehr schnellen Atomsprünge weisen eine hohe Triebkraft und gleichzeitig eine niedrige Energiebarriere auf, was dies zu einem sehr wahrscheinlichen Prozess macht. Die Mg-Atome weisen an ihrer neuen Position eine erhöhte Bindungsenergie auf, wodurch die weitere Versetzungsbewegung behindert wird und dadurch die charakteristischen Spannungssprünge in der Spannungs-Dehnungs-Kurve entstehen.

Bei der superplastischen Verformung von 5xxx-Aluminiumlegierungen können Dehnungen von mehreren hundert Prozent erreicht werden, wodurch eine große Gestaltungsfreiheit für das Bauteildesign ermöglicht wird. Ebenfalls kann sich durch das superplastische Umformen großer Außenhautteile für Automobile der Schweiß- bzw. Fügeaufwand reduzieren. Lange Prozesszeiten, hohe Temperaturen und die daraus resultierenden Bauteilkosten sind als mögliche Nachteile zu sehen. Verbesserungen bieten sich bei der Verformungstemperatur, der Legierungszusammensetzung und der optimalen Einstellung der Mikrostruktur. Die aktiven Verformungsmechanismen bei superplastischer Umformung sind Korngrenzengleiten (hohe Temperaturen, niedrige Verformungsgeschwindigkeiten) und Versetzungskriechen (niedrigere Temperaturen bzw. höhere Verformungsgeschwindigkeiten).

Die Untersuchungen zu fließfigurenarmen-5xxx Aluminiumlegierungen erfolgten an industriell gefertigten Blechen der Legierung 5182. Darüber hinaus wurden Versuchslegierungen auf Basis 5182 mit verändertem Mangan- bzw. Magnesiumgehalt im Labormaßstab abgegossen, gewalzt und wärmebehandelt. Einachsige Zugversuche bei Raumtemperatur und leicht erhöhten Temperaturen sowie mit mehreren konstanten Dehnraten dienten zur Ermittlung des Fließfigurenverhaltens und der mechanischen Kennwerte der untersuchten Legierungen. Mikrostrukturuntersuchungen erfolgten metallographisch im Lichtmikroskop, mittels Rasterelektronenmikroskopie und Electron Back Scatter Diffraction (EBSD).

An den getesteten Industrieproben konnte der positive Effekt einer hohen Dehnrates bzw. einer leicht erhöhten Verformungstemperatur (bis 55 °C) dargestellt werden. Die Versuche an den Laborlegierungen brachten folgende Ergebnisse: die im Mn-Gehalt veränderten Proben zeigten eine leicht verbesserte optische Ausprägung der Fließfiguren, die mechanischen Kennwerte blieben annähernd unverändert. Die Mg-modifizierten Legierungen wiesen eine deutlich bessere Verformungsfläche auf, die Lüdersdehnung konnte reduziert werden. Jedoch waren sowohl die Festigkeit als auch die Bruchdehnung in diesen Fällen reduziert. Durch eine Kombination einer Veränderung der chemischen Zusammensetzung, insbesondere des Mn-Gehaltes, und einer Variation im Herstellungsprozess konnte ein weiter verbessertes Oberflächenerscheinungsbild erreicht werden. Auf dem Weg zu einer fließfigurenfreien

Oberfläche kann nur die Kombination aus Legierungs- und Prozessoptimierung zu Erfolgen führen.

Mit Hilfe von Warmzugversuchen (410 °C bis 530 °C) zur superplastischen Verformung, durchgeführt an 5083 und einer Legierungsvariation, konnte gezeigt werden, dass ausgehend von guten mechanischen Eigenschaften durch eine kosteneffiziente Legierungsvariation höhere maximale Dehnungen bei gleichbleibender maximaler Spannung erreicht werden können. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass bei gleichbleibender Dehnung eine schnellere Verformungsgeschwindigkeit realisiert werden kann.

5xxx-Aluminiumlegierungen haben das Potenzial, fließfigurenfreie Bleche für den Einsatz als kaltverformte Automobil-Außenbleche in bestimmten Bereichen und somit eine kosteneffiziente Alternative für z.B. 6xxx Al-Legierungen zu sein. Mit der Verbesserung der Verformungsgeschwindigkeit und der erreichbaren Dehnung ist darüber hinaus eine Ausdehnung des Einsatzgebietes von superplastisch geformten Bauteilen in der Automobilbranche möglich.

M.Sc. Jan Steglich, Trimet Aluminium Essen, berichtete dann über **Bildungsmechanismen von Krätze beim Einschmelzen von Dosenschrottpaketen**. Im Rahmen des AMAP Clusters in Aachen wurde ein vorwettbewerbliches Forschungsprojekt zur CFD-Simulation eines Herdofens für Dosenschrottreycling erfolgreich abgeschlossen (weitere Informationen unter www.amap.de/projekte/projekt-5/). Eines der Ziele war es, die Krätzebildungsmechanismen durch untergetauchtes Schmelzen von paketierte Dosenschrotten (UBC) in Anlehnung an einen schmelzsalfreien Mehrkammerofenprozess zu untersuchen und die Ergebnisse in die numerische Simulation zu übertragen. Der Mehrkammerofenprozess ist eine Kombination aus thermischer Vorbehandlung (de-coating) und anschließendem Schmelzen der Schrotte in der Schmelze. In Abhängigkeit von der Vorbehandlungstemperatur, Ofenatmosphäre und Verweilzeit des Schrotts vor dem Schmelzen wird der organische Dosenlack der UBC-Pakete nur unvollständig entfernt. Der Schrott wird mit der verbleibenden Restorganik in die Schmelze getaucht und reagiert dort. Die Reaktionen der festen Oberflächen-

verunreinigungen wurden erstmals unter Ausschluss der Ofenatmosphäre auf ihre Krätzebildungsmechanismen im Labormaßstab untersucht. Die Ergebnisse der Krätzebildungsmechanismen durch untergetauchtes Schmelzen von UBC ist in Abbildung 3 zusammengefasst. Es wird gezeigt, dass die Krätzebildung minimal ist, wenn eine stöchiometrische Thermolyse ($\lambda = 1$) bei 550 °C und mindestens 30 min Behandlungszeit sowie vollständiger Durchwärmung der Pakete erfolgte. So kann der organische Dosenlack entfernt und gleichzeitig die Oxidation der Dosenbleche vermieden werden.

Ebenfalls wurde gezeigt, dass die sauerstofffreie Pyrolyse zu thermisch stabilen, fest anhaftenden Lackrückständen führt. Die Lackrückstände wurden in den erzeugten Krätzeschichten nachgewiesen. Der kohlenstoffbasierte Lackrückstand wird durch die Schmelze wenig benetzt und wirkt wie eine Trennschicht auf den geschmolzenen Dosenblechen. Es folgen eine geringe Koaleszenz der geschmolzenen Dosenbleche und mehr Krätze als von dem unbehandelten UBC. Das Eintauchen von nicht vorbehandeltem UBC führt zu entweichenden Gasblasen durch die Organikersetzung, wodurch zusätzliche Oxidfilme in der Krätzeschicht generiert werden. Eine starke Krätzebildung mit hohem Metallanteil ist die Folge. Die Reaktionen der gasförmigen Zersetzungsprodukte mit der Schmelze wurden in einem weiteren Arbeitspaket des Projekts untersucht und veröffentlicht.

Dr. Günther Valder, Otto Junker GmbH, berichtete über **Digitalisierung und Thermoprozesstechnik – Versuch einer Standortbestimmung**. Nach der ersten industriellen Revolution 1.0 durch die Erfindung der Dampfmaschine Ende des 18. Jahrhunderts folgte etwa 100 Jahre später mit dem Prinzip der Arbeitsteilung die zweite industrielle Revolution 2.0 bevor sich mit der Erfindung des Computers Mitte des 20. Jahrhunderts der Beginn der dritten industriellen Revolution 3.0 in Form der Digitalisierung abzeichnete. Industrie 4.0 ist nun der Einsatz von Informationstechnologie in der industriellen Produktion mittels vernetzter Systeme.

Die Thermoprozesstechnik kann sich heute der Vernetzung nicht mehr entziehen. Digitalisierung im Sinne von

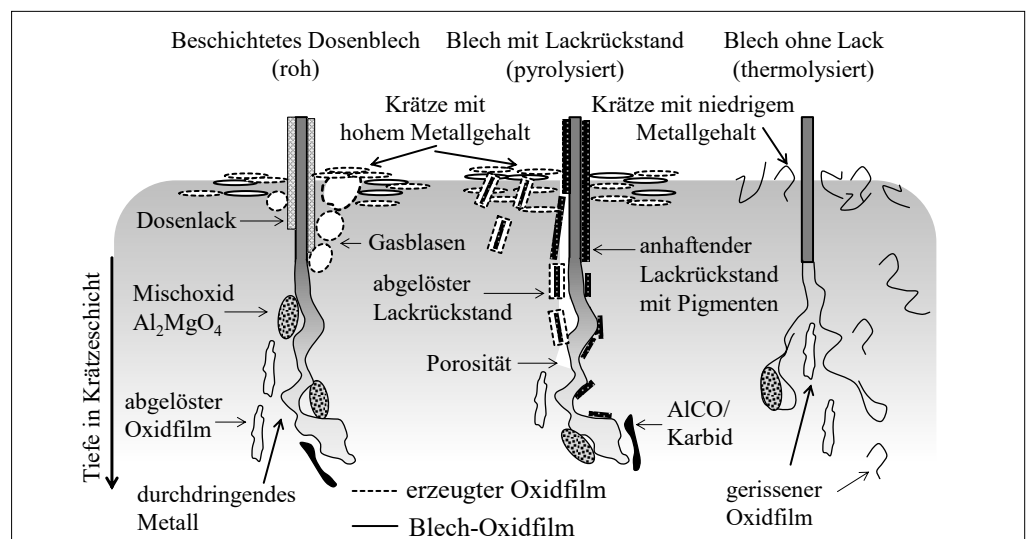


Abb. 3: Krätzebildungsmechanismen durch feste Oberflächenverunreinigungen auf Dosenblechen mit und ohne thermische Vorbehandlung

Automatisierung ist in der Thermoprozesstechnik nicht neu. Mit Einführung der speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) und den Mensch-Maschine-Schnittstellen (MMS) genannten grafischen Oberflächen zur Darstellung der Bedienung der Anlagen hat sich der Automatisierungsgrad stetig erhöht. Berichtet wurde 1991 von einem Industrieofen in der Buntmetallurgie, bei dem wechselnde Lastanforderungen durch vorausschauend rechnende Modelle besser beherrscht werden konnten. Hierbei wird die Anbindung eines solchen Modells an das Enterprise-Resource-Planning-System (ERP-System) und die Verknüpfung mit dem betrieblichen Materialfluss beschrieben. Die Thermoprozesstechnik hat seither stets mit der Weiterentwicklung Schritt gehalten. Physikalische Modelle können heute Temperatur-Zeitverläufe sowohl vorausschauend in der Produktionsplanung als auch in Echtzeit während der Wärmebehandlung berechnen. Häufig werden Produktionsplanung und Thermoprozessanlage über das ERP-System vernetzt. Die Anwendungsmöglichkeiten derartiger Modelle sind vielfältig: so kann beispielsweise beim Kammerofen zum Glühen von Bandbunden aus Aluminium im Chargenbetrieb die Restwärme aus dem Walzprozess genutzt werden. Auch die Integration realitätserweiternder Systeme wird heute bereits in die Praxis umgesetzt. Mittels spezieller Software können mit der Kamera eines Tablet-PC wichtige Bauteile an beliebigen Produktionsanlagen identifiziert werden. Diese werden dann im Kamerabild mit zusätzlichen Informationen in Form von Text, Bild oder Video angereichert.

Geförderte Forschungsprojekte unter Führung oder mit Beteiligung des Instituts für Industrieofenbau und Wärmetechnik der Technischen Hochschule Aachen dienen dem digitalen Fortschritt wie beispielsweise dem Projekt „Vorrichtung zur Volumenstrommessung bei Hochkonvektionsanlagen zur Wärmebehandlung“. Im Rahmen dieses Projektes wurde ein Sensor entwickelt, der eine verlässliche Messung des von Radialventilatoren geförderten Volumenstroms bei Einsatztemperaturen von bis zu 600 °C erlaubt. Durch kontinuierliche Auswertung der Messwerte können so gleichermaßen prozesstechnisch- und instandhaltungsrelevante Informationen digital bereitgestellt werden.

Moderne Thermoprozesstechnik und hoher Automatisierungsgrad sind offensichtlich kein Widerspruch. Einige Notwendigkeiten lassen sich ableiten, wenn man zum Beispiel beabsichtigt, dass die Thermoprozessanlage der Zukunft einen drohenden Anlagenstillstand vorausschauend erkennt und wirksam verhindert. Dazu werden zunächst virtuelle und physikalische Sensoren im laufenden Betrieb Abweichungen vom Sollzustand erkennen. Diese Abweichungen werden durch intelligente Algorithmen ausgewertet. Es wird beispielsweise abgeleitet, wann ein Bauteil ausgetauscht werden muss. Dieses Bauteil wird von der Software eindeutig identifiziert und an das ERP-System des Betreibers gemeldet, der somit effizient eingreifen kann. Damit das Gelingen kann muss Datensicherheit gewährleistet werden.

M.Sc. Nikolaus Borowski, RWTH Aachen, IME Metallurgische Prozesstechnik und Metallrecycling, orientierte

über **Herausforderungen bei der Bestimmung thermophysikalischer Eigenschaften in geschmolzenen Phasen**. Thermophysikalische Eigenschaften sind makroskopische Materialeigenschaften, die von Temperatur, Druck und Zusammensetzung abhängen, dabei jedoch nicht die chemische Identität des Materials ändern. Zu diesen Eigenschaften zählen: Dichte, elektrische Leitfähigkeit, Wärmekapazität, Viskosität, Wärmeleitfähigkeit, Oberflächenspannung, thermische Diffusion und Emissivität. Diese Eigenschaften sind von Bedeutung, weil sie Bestandteil einer umfassenden Beschreibung eines Stoffes sind und man darüber Kenntnis über Stoffeigenschaften sowie ein Verständnis über das Stoffverhalten erhält. Die Kenntnis dieser Eigenschaften ist wichtig, weil sie das Produkt, dessen Eigenschaften, das Aussehen, die Anwendung, den Herstellungsprozess und auch den Verfahrensprozess beeinflussen.

Zur Optimierung des Produktions- bzw. Verfahrensprozesses ist die genaue Kenntnis der thermophysikalischen Eigenschaften unerlässlich. Aus der Vielzahl der Eigenschaften wurden die folgenden für weitere Abklärungen ausgewählt: Dichte, Oberflächenspannung, elektrische Leitfähigkeit und Viskosität.

Die Dichte ist der Quotient aus der Masse eines Körpers und seinem Volumen. Die Kenntnis dieser Größe ist besonders für die Trennung von Metall und Schlacke, aber auch zur Bestimmung weiterer thermophysikalischer Eigenschaften wichtig. Als Messmethoden bieten sich hier an: Auftriebsmethode, dilatometrische Methode, Pyknometermethode, Methode des maximalen Blasendrucks und die Gammastrahlenmethode. Für weitere Abklärungen wurde das Messprinzip des Auftriebs nach dem Archimedischen Prinzip gewählt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass thermische Expansion, Korrosion, Messfehler durch die Aufhängung, Vibration und hochviskose Flüssigkeiten die Ergebnisse beeinflussen können.

Die dynamische Oberflächenspannung ist die infolge von Molekularkräften auftretende Erscheinung bei Flüssigkeiten, ihre Oberfläche klein zu halten. Das Kennen dieser Größe ist wichtig, weil sie metallurgische Vorgänge wie Koaleszenz und Dispersion, Benetzung, Adsorption, Raffination sowie Oxidation und Reduktion beeinflusst.

Bei der Bestimmung der Oberflächenspannung muss darauf geachtet werden, dass der Kapillardurchmesser genau gemessen worden ist, die Kapillare chemisch und thermisch beständig ist, die Eintauchtiefe exakt bestimmt wird, die Dichte der Schmelze genau bekannt ist und die Temperatur in der Messapparatur homogen ist.

Die elektrische Leitfähigkeit gibt an, wie groß die Fähigkeit eines Stoffes ist, den elektrischen Strom zu leiten. Die Kenntnis dieser Größe ist wichtig, da sie die Wärmebringung in den Prozess durch Widerstandserwärmung beeinflusst. Das wiederum beeinflusst die Energieausbeute und die Wirtschaftlichkeit eines Prozesses. Vorteilhafterweise wird die elektrische Leitfähigkeit mit einer kalibrationsfreien Messzelle bestimmt. Die Genauigkeit der Messungen ist jedoch abhängig von den Tiegel- und

Elektrodenmaterialien, deren chemischer und thermischer Beständigkeit, einer konstanten Temperaturführung, ferner von thermischer Diffusion, einer ausreichend großen Zellkonstante, der Reproduzierbarkeit und Genauigkeit der Ergebnisse.

Besondere Aufmerksamkeit kam dem Messen der dynamischen Viskosität zu, die ein Maß für die Zähflüssigkeit eines Fluids ist. Als Messprinzip bieten sich hier die Methode mit bewegten Flüssigkeiten und/oder die Methode mit bewegten Messkörpern an. Als Messmethoden sind bekannt: Kapillarviskosimeter, Kugelfallmethode, Rotationsmethode, Schwingungviskosimeter sowie auch die Schwingungsdämpfung. Diese Größe wurde mit einem Schwingungviskosimeter gemessen. Dabei kam es besonders darauf an, Hintergrundschwingungen klein zu halten, die richtige Materialauswahl für Hochtemperaturschmelzen zu treffen und gleichbleibende Eintauchtiefen zu gewährleisten. Diese Größen beeinflussen die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse.

Die Kenntnis thermophysikalischer Eigenschaften ist für die Erzielung optimaler Produktionsprozesse erforderlich. Sie dienen als Grundlage zur Entwicklung mathematischer Modelle, mit denen Messungen überprüft werden können. Das ist nur mit der Entwicklung der geeigneten Messtechnik möglich. Die bessere Kenntnis thermophysikalischer Eigenschaften führt zur Optimierung der Herstellungsprozesse sowie auch der Produkte.

Als Vertreter eines Autorenkollektivs berichtete M.Sc. Henning Bruns, RWTH Aachen, Institut für Industrieofenbau und Wärmetechnik, abschließend über **Prozess-technische Herausforderungen zunehmender organischer Kontaminationen beim Aluminiumrecycling**. Zunächst geht M.Sc. Bruns auf interessante statistische Zahlen ein. Im Jahre 2017 werden weltweit mehr als 60 Mio. t Primäraluminium erzeugt. Das Angebot deckt hier die Nachfrage. Zusätzlich wird geschätzt, dass 2017 weltweit bis zu 18 Mio. t Altschrott anfallen. Die Tendenz ist steigend.

In der EU wurden 2015 etwa 2 Mio. t Primäraluminium erzeugt. Zusätzlich wurden etwa 5 Mio. t Schrott recycelt und 7 Mio. t Aluminium importiert.

Von den angegebenen Schrottmengen waren 600 000 t Gussprodukte und etwa 1,2 Mio. t Knetlegierungen. Bei den Knetlegierungen handelt es sich wiederum um etwa 1 Mio. t Neuschrott und 200 000 t Altschrott.

Zum Recyceln von Aluminiumschrotten stehen folgende Ofentypen zur Verfügung: Einkammerofen, Einkammerofen mit Vorwärm Bühne, Zweikammerofen mit Vorwärm Bühne sowie Zwei-/Dreikammerofen mit Vorwärm schacht.

Bisher herrscht die Meinung vor, dass man hohe Energie- und Ressourceneffizienz mit einem integrierten Prozess wie z.B. dem Zweikammerofen erreichen kann. Eine detaillierte Untersuchung der im Ofen ablaufenden Vorgänge hat allerdings nennenswerte Nachteile eines solchen integrierten Prozesses hervorgebracht.

Stand der Technik im Ofenbau für das Recyceln von Aluminiumschrotten mit anhaftenden organischen Bestandteilen sind heute Vielkammeröfen mit Schrottvorwärmung. Als



Abb. 4:
Die Pyrolyse an der Außenhaut des Schrottpaketes beginnt bei etwa 350 °C (Foto: Jan Steglich)

Beispiel sei hier der Ecomelt PR-120-Zweikammerofen (120 t/d Schmelzleistung) der Firma Hertwich genannt. Andere Öfen für das Recyceln mit organischen Bestandteilen verunreinigter kompaktierter Schrotte sind Vielkammeröfen der Firmen Tenova, Otto Junker und Jasper.

Bereits wenige Minuten nach dem Chargieren von kompaktiertem Schrott beginnt die Pyrolyse an der Außenhaut des Schrottpaketes bei etwa 350 °C. Die organischen Stoffe werden zu Restkohlenstoff, Teer/Öl und flüchtigen Kohlenwasserstoffen zersetzt (Abbildung 4). In den Hohlräumen des Schrottpaketes baut sich ein Überdruck auf. Die flüchtigen Bestandteile strömen nach außen. Zweifelhaft ist jedoch, ob bei derart dicht verpressten Paketen tatsächlich alle Gase freigesetzt werden können. Zur Klärung dieses Punktes sind am Institut für Industrieofenbau Permeabilitätsmessungen geplant.

Bei integrierten Prozessen für die Behandlung von kontaminierten Schrotten bestehen im Wesentlichen folgende Probleme: das kompaktierte Material wird normalerweise nicht ganz pyrolysiert, wenn es in die Schmelze gestoßen wird. Die Pyrolysegase kommen mit der Schmelze in Kontakt. Als Folge bilden sich Aluminiumcarbide und -oxide. Pyrolysegase verlassen unkontrolliert das kompaktierte Material und verbrennen an der Oberfläche des Aluminiums, was Oxidbildung begünstigt. Die organischen Verunreinigungen stellen auch einen Energieeintrag in den Ofen dar, was zu einer Begrenzung der Schmelzleistung/Chargiermenge hoch kontaminierter Schrotte führt.

Hierzu wurden Pyrolyseemissionen genauer untersucht. Es wurden jeweils 50 g geschredderter Dosenschrott in einen gasdichten Muffelofen gegeben und hier mit einer Heizrate von 5 °C/min von 20 °C auf 650 °C unter Stickstoff als Schutz- und Spülgas erhitzt. Die entstehenden Pyrolysegase wurden u.a. mit FT-IR analysiert. Die Emissionen wurden somit detailliert charakterisiert und für die Einbindung in numerische Simulationen in CH₄-Äquivalent ausgedrückt. An verschiedenen Simulationsfällen wurde die Ausgasung von organisch kontaminiertem Recyclingmaterial untersucht. Die Modellergebnisse zeigen, dass während der Entgasung die Verbrennung der Pyrolysegase keinen Einfluss auf die Durchschnittstemperatur während der Erhitzung hat. 20 bis 30 Minuten Behandlung ist für eine vollständige Pyrolyse üblicher Paketgrößen zu kurz. Die Ausgasung der Kohlenwasserstoffe hat auf die Form und Position der Flamme im Ofen keinen erkennbaren

Einfluss. Die Korrosionsverluste wegen zu hoher Temperatur und Feuchtigkeit in oxidierender Atmosphäre sind durch die Verbrennung der Pyrolysegase nahe der Materialoberfläche als hoch zu erwarten.

Mit diesen Modellergebnissen wurde das Optimierungspotenzial für einen 75-t-Industrieofen abgeschätzt. Um Energie- und Metallverluste so gering wie möglich zu halten wird kontinuierliche Chargierung von geschreddertem Material wärmstens empfohlen. Bei einer Schmelzleistung von 38 000 t/a und optimierter Chargierung von Dossenschrott besteht ein Potential zur Einsparung von Energie im Wert von bis zu 38 000 €/a.

Eine grundlegende Trendwende in der Anlagentechnik für das Recycling von organik-kontaminiertem Aluminium-Schrott hin zu zweistufigen nicht-integrierten Prozessen wird im Hinblick auf die Energie- und Ressourceneffizienz als sinnvoll erachtet. Verschiedene prozesstechnische Möglichkeiten sollen in naher Zukunft mit öffentlich geförderten Projekten am Institut für Industrieofenbau erforscht werden.

3 Werksbesichtigungen

3.1 TRIMET Aluminium Werk Essen

In den drei Elektrolysehallen mit jeweils 120 längsgestellten Elektrolysezellen produziert Essen aktuell ca. 165 000 t/a Primärmetall (Abbildung 5).

Doch TRIMET denkt den Elektrolyseprozess neu und plant eine Flexibilisierung der Fahrweise mit einer Variation des Energieinputs von $\pm 25\%$. Im Rahmen eines Pilotvorhabens wurden bei TRIMET und der Bergischen Universität Wuppertal mit den Instituten für Automatisierungstechnik, Werkstofftechnik und Strömungsmechanik die notwendigen Grundlagen experimentell erforscht, durch Simulationsarbeit unterstützt und an einem Demonstrator experimentell validiert. Die Erkenntnisse dieses Demonstrationsvorhabens werden bei TRIMET in Essen nun an einer 90-MW-Pilotanlage in die betriebliche Praxis umgesetzt. Der Terminplan sieht vor, einen ersten Prototyp industrieller Größenordnung mit einer Leistung von 90 MW $\pm 25\%$ bis Ende 2018 am Netz zu haben. Die dadurch erzielte Flexibilisierung des Prozesses ermöglicht die Nut-



Abb. 5: Elektrolysehalle von TRIMET in Essen



Abb. 6: In der Gießerei wird das Elektrolysemetall mit Schrotten und Legierungsmetallen in 12 gasbeheizten Schmelzöfen chargiert



Abb. 7: Pressbarrenlager

zung der Aluminiumelektrolyse am Standort Essen als sogenannte virtuelle Batterie mit einer perspektivischen Speicherkapazität von ca. 3400 MWh.

In der Gießerei wird das Elektrolysemetall mit Schrotten und Legierungsmetallen in 12 gasbeheizten Schmelzöfen chargiert und anschließend in 12 induktiv beheizte Gießöfen überführt, behandelt und von dort in vertikalen Stranggussanlagen in Formate – Pressbarren und Walzbarren – abgegossen (Abbildungen 6 und 7). Die Pressbarren werden vollautomatisch mit Ultraschall auf Gussfehler überprüft und kontinuierlich oder batchweise in Homogenisierungsöfen behandelt. Zusätzlich werden an zwei horizontalen Stranggussanlagen und einer konventionellen Gießanlage kontinuierlich Gusslegierungen in Form von Masseln gegossen.

3.2 Recyclinghütte der TRIMET SE in Gelsenkirchen

Werksleiter Jens Meinecke stellte die Recyclinghütte der TRIMET Aluminium SE in Gelsenkirchen vor. Gegründet 1936, fertigte das Umschmelzwerk bis in die 1990er-Jahre ausschließlich Gusslegierungen. TRIMET übernahm den Standort 1993 und stellte die Produktion auf die rein körperliche Umarbeitung von Knetlegierungen um, die ausschließlich als Sows in verschiedenen Formaten geliefert wurden. Im Jahr 2004 nahm TRIMET die Fertigung von Gusslegierungen wieder auf. Sie machen heute nahezu die gesamte Produktionsmenge aus. Das TRIMET Recyclingwerk Gelsenkirchen setzt jährlich rund 120 000 t Recyclingprodukte und Schrotte um. Die Hälfte davon, rund



Abb. 8:
Die Tagungsteilnehmer vor dem
„Drachenfeuer“

60 000 t, machen Gussprodukte aus. 60 % dieser Menge werden als Masseln und Sows abgegossen, der Rest erreicht als Flüssigmetall seine Kunden.

Bei TRIMET in Gelsenkirchen sind derzeit 92 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sowie drei Auszubildende in den Bereichen Handel und Produktion tätig. Der Standort arbeitet im Vollkontinbetrieb und steht damit seinen Kunden rund um die Uhr zur Verfügung. Eingeschmolzen werden die Schrotte in drei Drehtrommelöfen mit Fassungsvermögen von 18, 15 und 25 t. Hier entstehen Gusslegierungen der Qualitäten DIN 239, 233, 231 und 226. Auch Vorlegierungen, Knetlegierungen und kundeneigene Legierungsqualitäten gehören zum Angebot. In fünf Konvertern mit einem Volumen von je 25 t wird die Schmelze anschließend vergossen und aufbereitet. Für die abschließenden Prozessschritte stehen drei Flüssigverladestationen, zwei Masselgießbänder mit einer Gießleistung von 5 t/h und eine Sowgießanlage zur Verfügung. Das Werk ist nach ISO 50001, 9001, 14001 und ISO/TS16449 zertifiziert.

TRIMET hat in den vergangenen drei Jahren umfassend in die Modernisierung und den Ausbau der Infrastruktur des Lagers investiert. Dabei hat der Standort übrigens auch ein neues, unübersehbares Markenzeichen erhalten: Die Fassade der Produktionshalle ziert ein riesiger, 60 Meter langer Drache – ein Symbol für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, jede Herausforderung anzunehmen (Abbildung 8).

Der anschließende Werksrundgang führte unter anderem durch die neu geschaffenen Lagerflächen. Hier wird die Zusammensetzung und Beschaffenheit der angelieferten Schrotte mittels einer Probenahme und einer anschließenden Spektralanalyse ermittelt.

In der Produktionshalle werden die Drehtrommelöfen im Gegenstromverfahren beschickt und Flüssigmetall abgestochen. Das Festmetall wird unter einer Salzsammelzelle mit

Sauerstoffbrennern eingeschmolzen. Der Drehtrommel-schmelzprozess wird hierbei kontinuierlich durch einen Operator überwacht. Die Gesamtproduktionsdauer einer 25-Tonnen-Charge, dies entspricht einer kompletten Lkw-Ladung, beträgt zehn bis elf Stunden.

4 Interne Sitzung

Zur internen Sitzung konnte der Leiter des Fachausschusses, Dipl.-Ing. Michael Schwalb, zehn Mitglieder begrüßen. Von der Geschäftsführung der GDMB ist zu berichten, dass sich dieses Jahr für die internationale Metallurgiekonferenz EMC in Leipzig rd. 420 Teilnehmer aus 31 Ländern angemeldet haben. Dadurch ist diese Veranstaltung die bisher größte EMC, die außerhalb von Düsseldorf durchgeführt worden ist.

Die GDMB hat weiterhin Erfolg mit der Mitgliederwerbung von Studierenden, hier wird das Angebot einer zweijährigen kostenlosen Mitgliedschaft gerne angenommen. Insgesamt waren zum 30.12.2016 1105 persönliche Mitglieder und 94 Unternehmen zu verzeichnen.

Danksagung

Dipl.-Ing. Michael Schwalbe bedankt sich im Namen des Fachausschusses bei TRIMET Aluminium Essen besonders für die genossene Gastfreundschaft und wünscht den Teilnehmern eine gute Heimreise.

Der Berichterstatter dankt den Vortragenden für umfangreiche Verbesserungen und Ergänzungen der eingereichten Textentwürfe.

5 Nächste Tagung des Fachausschusses

Die Planung sieht für das Jahr 2018 den Besuch der AMAG casting GmbH in Ranshofen. vor Als Termin wird die 36. Kalenderwoche zwischen dem 4. bis 6. September 2018 festgelegt.