

IME Metallurgische Prozesstechnik und Metallrecycling der RWTH Aachen

Allgemeines

Das IME vertritt die metallurgische Prozesstechnik und das Metallrecycling in Forschung und Lehre an der RWTH Aachen (Bild 1). Kernkompetenzen sind eine praxisbezogene Ausbildung von Prozessingenieuren und die Entwicklung nachhaltig umweltschonender und kosteneffizienter Verfahren zur Herstellung und zum Recycling metallischer Werkstoffe. Seit Antritt von Prof. Dr.-Ing. Bernd Friedrich als Institutsdirektor (1999) rückt die Prozesstechnik zur Entwicklung und Optimierung von Recyclingverfahren für metallische Werkstoffverbunde und komplexe Legierungen in den Vordergrund, wobei das Ziel verfolgt wird, neu entwickelte Prozesse ausgehend von anwendungsorientierten Grundlagenarbeiten experimentell bis in den technischen Maßstab zu erproben. Diese industrienaher Entwicklung erfolgt immer unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit. Eine wesentliche Voraussetzung hierfür ist die Sicherstellung einer präzisen Analytik, ein Know-How, das auch Kunden als Service angeboten wird.

Viele Aktivitäten werden durch den Verein zur Förderung des Instituts „Freunde des IME e.V.“ (www.ime-verein.de) unterstützt. Das Hauptanliegen des Fördervereins ist es, die schwierige Nachwuchssituation durch Imagearbeit, Förderpreise und Bereitstellung innovativer Anlagentechnik zu verbessern. Dies erfolgt mittels Mitgliedsbeiträgen und zweckgebundenen Spenden.

Neben dem Institutsleiter und dem Oberingenieur Dr.-Ing. Reinhard Fuchs beschäftigt das Institut derzeit über 20 wissenschaftliche Mitarbeiter sowie 20 Mitarbeiter im technischen und Verwaltungsdienst. Ferner bildet das IME in den Bereichen Industriemechanik, Chemielabor und Bürokommunikation aus. Mit besonderer Freude verzeichnen wir ein stark zunehmendes Interesse ausländischer Ingenieure, am IME zu forschen und zu promovieren. Derzeit unterstützen uns Gastwissenschaftler aus Serbien und Montenegro, Russland, Japan, Mexiko und China sowie der Mongolei und der Türkei.



Bild 1: Das Institutsgebäude in Aachen

Etwa 20 % der Mitarbeiter werden über Landesmittel, alle anderen Mitarbeiter über Drittmittel finanziert, die vom Land NRW, dem Bund, der EU und sonstigen Förderinstitutionen wie BMBF, AiF und DFG und natürlich zu einem großen Teil direkt aus der Industrie kommen.

Lehrangebot

Der sich in den vergangenen Jahren vollzogene Strukturwandel in der Metallindustrie hat gravierende Auswirkungen auch auf die Ingenieurqualifikation. Insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen fordern verstärkt fächerübergreifende Fähigkeiten. Das praxisnah gestaltete Studium der NE-Metallurgie entspricht diesen Anforderungen, wobei ein wesentliches Augenmerk auf die Befähigung zur Entwicklung von Verfahren zur Herstellung innovativer metallischer Werkstoffe, wie auch zu deren Recycling gelegt wird. Das Lehrangebot des IME ist bis 2007 ausgerichtet auf einen 10-semesterigen Diplomstudiengang (Dipl.-Ing.) sowie einen 4-semesterigen englischsprachigen Aufbaustudiengang „Master in Metallurgical Engineering“. Hierzu bietet das IME das **Vertiefungsfach Nichteisenmetallurgie** an. In den Vorlesungen werden die verfahrenstechnischen Einzelschritte (operation units) metallurgischer Prozesse, ihre theoretischen Grundlagen, die anlagentechnischen Details und Praxisbeispiele vorgestellt. Weitere vom IME angebotene **Spezialisierungsfächer** sind *Industrielle Galvanotechnik, Oberflächentechnik* sowie *Entwicklung, Planung und Bau von Anlagen* und *Umweltschutz beim Metallrecycling*. Ab 2007 wird sich die Lehre auf den Bachelor/Master-Studiengang umstellen. Als besonderes Highlight führt das IME jeden Herbst eine **zweiwöchige Exkursion** zu verschiedenen Unternehmen der NE-Metallurgie und anverwandten Bereichen in Deutschland, Europa sowie Übersee durch.

Forschungsgebiete

Die Forschungsschwerpunkte des IME (Bild 2) unterliegen zwangsläufig den sich stetig verändernden Bedürfnissen und Prioritäten der uns verbundenen Industrieunternehmen.



Bild 2: Forschungs- und Serviceschwerpunkte des IME

Nahezu die gesamte Bandbreite der Metalle wird hierbei abgedeckt, wobei die Gruppen der Leichtmetalle (Aluminium, Magnesium) und der hochschmelzenden Metalle (Titan, Vanadium, Niob) besondere Schwerpunkte bilden.

Die Entwicklung auf dem Gebiet der **Recyclingmetallurgie** erfordert den Einsatz einer großen Vielfalt an Testreaktoren und Prozessalternativen. Im Folgenden wird zu einigen ausgewählten Arbeiten berichtet.

Batterierecycling im Elektrolichtbogenofen

Am IME sind Gleich-/Wechselstrom-Elektrolichtbogenöfen im Einsatz, deren Elektroden-system mit dem Boden des Ofens dicht abschließt. Das in diesem Maßstab einzigartige System einer wassergekühlten Bodenelektrode aus OF-Kupfer erweist sich als zuverlässige Stromabfuhr. Derzeit werden vier Elektrolichtbogenöfen für Forschungsprojekte betrieben. Im kleinsten Aggregat können unter Schutzgas aus Legierungselementen gepresste Elektroden umgeschmolzen werden (VLBO). Zwei Laboröfen mit Graphitelektroden ($P_{\max} = \text{ca. } 100 \text{ kW}$) ermöglichen das Einschmelzen von über 10 l Material. Die Flexibilität dieser Öfen gestattet Untersuchungen zum Recycling von Reststoffen und Rückständen wie Schlacken, Schleifstäuben, Krätzen, Filterstäuben, Müllrosta-schen, metallischen Schrotten oder Batterien. Einer der Öfen kann im Schutzgasstrom bei Schmelztemperaturen von über 2300 °C betrieben werden. Eine neuartige Chargiereinrichtung sorgt dabei für den gasdichten, kontinuierlichen Materialeintrag durch eine Hohlelektrode. Das IME-Labor für schmelzflüssige Phasen erlaubt dazu die gezielte Analyse von Schlackeneigenschaften wie Viskosität, Dichte und Leitfähigkeit.

Das Herzstück der Lichtbogenofen-Technik ist der Pilot-Ofen mit einem Nutzvolumen von über 200 l (Bild 3). Die Maximalleistung im Gleichstrombetrieb liegt bei etwa 0,5 MW, so dass Einschmelzraten von über 250 kg Stahl oder Batterieschrott pro Stunde möglich sind. Die maximale Schmelztemperatur von 1900 °C gestattet z. B. die Erzreduktion zu Ferrolegierungen oder das Einschmelzen titanoxidreicher Schlacken. Hohlelektroden-systeme sowie Chargierlanzen erlauben einen kontinuierlichen Materialeintrag direkt in den Lichtbogen, wodurch aufwendige Agglomerationsver-



Bild 3: Batterierecycling (Co-Ni-Abstich)

fahren vermieden werden können. Der Abstich erfolgt diskontinuierlich.

Im Rahmen eines dreijährigen Forschungsprojektes wurde ein geschlossener Recyclingkreislauf für Nickel-Metallhydrid-Batterien mit dem Ziel der Herstellung einer Ni-Co-Legierung und eines Selten-Erd-Mischmetalls, welche direkt wieder zur Batterieherstellung eingesetzt werden können, untersucht. Das aufbereitete Altbatteriepulver wird mittels gasdichter Hohlelektrode unter Verwendung einer Schlacke auf CaO-CaF₂-Basis eingeschmolzen. Die Wertmetalle Ni und Co legieren sich zu einer flüssigen Metallphase und werden getrennt von der Schlacke, die als Sammler für die wertvollen SE-Metalle dient, abgestochen. Auch für den Einsatz von stückigem Batterieschrott bietet sich dieser Ofentyp an. In enger Zusammenarbeit mit der Recyclingindustrie konnte aus Alkali/Mn- bzw. Zn/Kohle-Batterieschrott ein Ferromangan mit über 50 % Mn-Inhalt gewonnen werden. In einem aktuellen Forschungsprojekt wird das Recycling von Li-Ionen-Batterien untersucht.

Zur Verringerung des Abfallaufkommens und der Wiedergewinnung nützlicher Wertmetalle dient auch die Schlackenachbehandlung im Lichtbogenofen. Dabei zeigten sich deutliche Verbesserungen, sowohl hinsichtlich der Belastung der Umwelt als auch des Austrags in der Schlacke gebundener Wertmetalle wie Zn, Pb, Ga und Ge. Auch dieses Forschungsvorhaben wurde bis zum Produktionsmaßstab entwickelt.

VIM-Raffination von gemischten Kupferschrotten

Die Vakuumdestillation wird dann eingesetzt, wenn sich Metalle durch herkömmliche Verfahren nicht oder nur schwer raffinieren lassen und zudem eine ausreichend hohe Differenz der real vorliegenden Dampfdrücke vorliegt (Bild 4). Dieses Verfahren wird sowohl bei der Verarbeitung von Recycling- und Sekundärmaterialien als auch zur Herstellung von hochreinen Legierungen und Reinstmetallen angewandt. Effekte wie die Verschiebung des Gleichgewichtes in Richtung der erwünschten Reaktionen durch Verminderung des Druckes und damit Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit werden hierbei ausgenutzt.



Bild 4: 35 | Thermostar-Ofen mit Fo-seco-Impeller und Schutzgasbetrieb

Für derartige Projekte stehen am IME Kalt- und Heißwandvakuuminduktionsöfen (Tiegelvolumen 1 l bis 100 l) zur Verfügung, wodurch bis zur industrienahen Pilotanlage drei scale-up Stufen möglich sind (Bild 5). So wurde in einem Industrieprojekt die Aufarbeitung von gemischten Cu-Legierungsschrotten (Messing, Bronzen) realisiert. Die Vakuumbehandlung kann die konventionelle pyrometallurgische Kupfersekundärroute für hoch Pb- und Zn-haltige Schrottsorten ersetzen, die Nachteile der Verzettlung der Wertmetalle, der Entstehung großer Mengen Flugstäube sowie der großen Rückgutmengen vermeiden und direkt zwei vermarktungsfähige metallische Produkte erzeugen.



Bild 5: Vakuuminduktionsöfen (Fa. Junker), Schmelzvolumen 100 l, Schmelzleistung 180 kW

Bei Versuchen zur Destillation von Zn und Cd aus Pb-Schwämmen wurde der Zn-Gehalt auf unter 6 ppm und der Cd-Gehalt unter 1 ppm gesenkt. Eine Wirtschaftlichkeitsrechnung erfolgt derzeit und die Übertragung der Parameter in den industriellen Pilotmaßstab ist in Vorbereitung. Als drittes Beispiel erfolgte ausgehend von Laborversuchen am IME die Festlegung auf das derzeit umweltfreundlichste Vakuumdestillations-Verfahren für NiCd-Batterieschrotte bei der Accurec GmbH, Mühlheim.

Raffination von Aluminiumschmelzen

Auf Grund immer höher werdender Qualitätsanforderungen an Schmelzen des Al-Recyclings ist in den meisten Fällen vor dem Vergießen von Al-Legierungen eine Schmelzebehandlung zwecks weitgehender Entfernung sowohl gelöster als auch fester Verunreinigungen notwendig. Mit der am IME verfügbaren Anlagentechnik lässt sich die gesamte Breite metallurgischer Schmelzebehandlungsverfahren überprüfen. Das reicht von Spülgasbehandlungen mit Argon, über Vakuümöfen bis zu Zentrifugen und Filteranlagen, die eingesetzt werden, um z. B. nichtmetallische Partikel zu entfernen.

Im EU-Projekt „Molten Aluminium Purification (MAP)“, das sich mit der Entfernung von Fe aus Al-Schmelzen befasst, kommt eine Filterzentrifuge zur Abtrennung auskristallisierter intermetallischer Phasen aus flüssigem Al zum Einsatz. In einem Ver-

bundprojekt „Entwicklung von Recyclingkonzepten für Al-Sonderwerkstoffe“ zur Aufarbeitung von speziellen Al-Legierungen und Verbundwerkstoffen, für die bisher noch kein geeigneter Recyclingprozess existiert, kommt diese Filterzentrifuge ebenfalls zum Einsatz. Hierbei werden beim Recycling von Metall-Matrix-Verbundwerkstoffen die verstärkenden Keramikpartikel aus der schmelzflüssigen Al-Matrix gefiltert und zurück gewonnen.

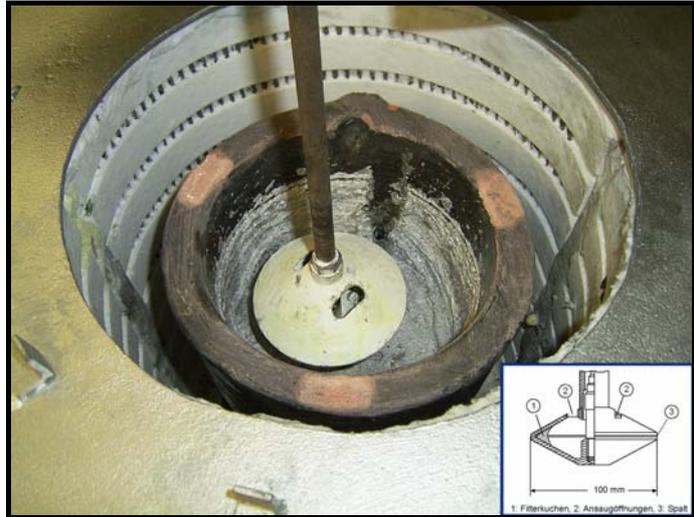


Bild 6: Laborzentrifuge zur Raffination von Aluminiumschmelzen

Ein weiteres Projekt hat die „Entwicklung von Verwertungsprozessen für niedrig metallhaltige Mg-haltige Reststoffe“ zur Aufgabe. Beim Einschmelzen von Mg-Spänen, die unter anderem mit Bohremulsion und Öl verunreinigt sind, sowie von Mg-Schlacken, sog. „sludge“, werden die nichtmetallischen Verunreinigungen von einer Salzschnmelze festgehalten und aus dieser kontinuierlich entfernt (Bild 6).

In der Regel werden die Projekte in enger Kooperation oder im Auftrag mit Partnern der Industrie bearbeitet. Zu allen Arbeitsfeldern bietet das Institut mit seiner modernen institutseigenen Bibliothek über die Forschungs- und Entwicklungstätigkeit hinaus Beratung und Dienstleistungen für Unternehmen und Behörden an, wie z. B. die Bewertung von Prozessänderungen unter besonderer Berücksichtigung der Umweltaspekte sowie internationale Schriftumsrecherchen zum Stand der Technik oder zur Bestimmung von Stoffdaten schmelzflüssiger Phasen.

Anschrift

IME Metallurgische Prozesstechnik und Metallrecycling, RWTH Aachen

Intzestraße 3

D-52072 Aachen

Telefon: +49 (0)241 8095851

Telefax: +49 (0)241 8092154

E-mail: Forschung@ime-aachen.de

www.ime-aachen.de

Leitung und Geschäftsführung: Prof. Dr.-Ing. Bernd Friedrich