

Jahresmagazin **Werkstofftechnik**

Ingenieur
wissenschaften
2023

ISSN 1618-8357
EUR 9,80

Herausgegeben vom Institut für Wissenschaftliche Veröffentlichungen

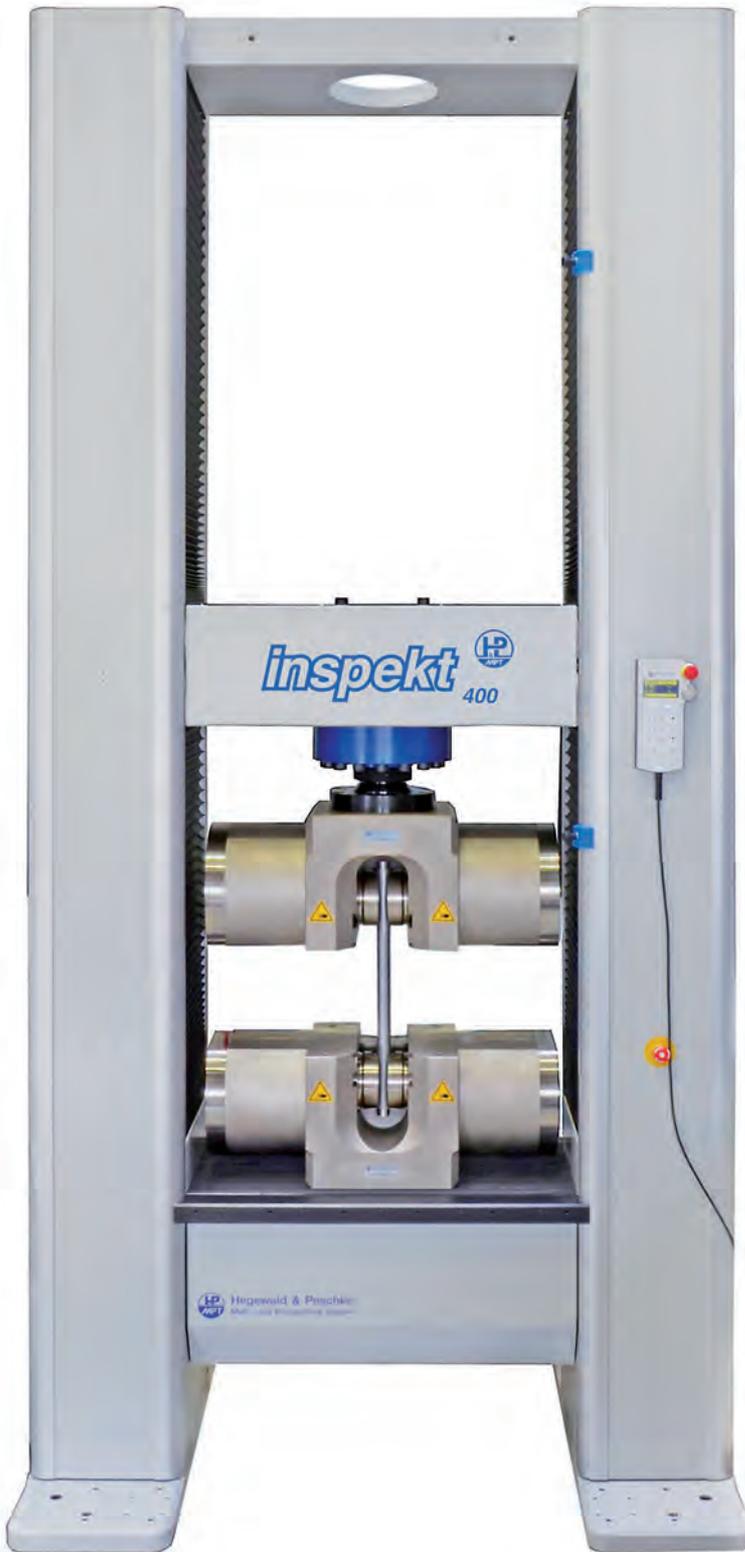




Hegewald & Peschke

Meß- und Prüftechnik GmbH

... Prüfmaschinen -
entwickelt und produziert
in Deutschland.



Unsere Produkte:

Zugprüfmaschinen

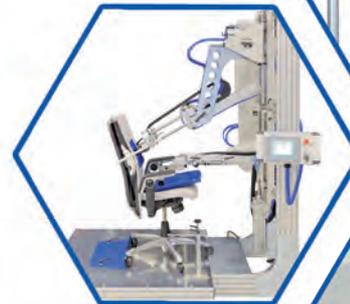
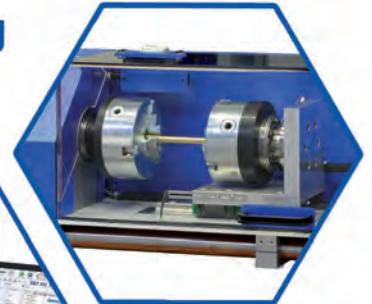
Härteprüfgeräte

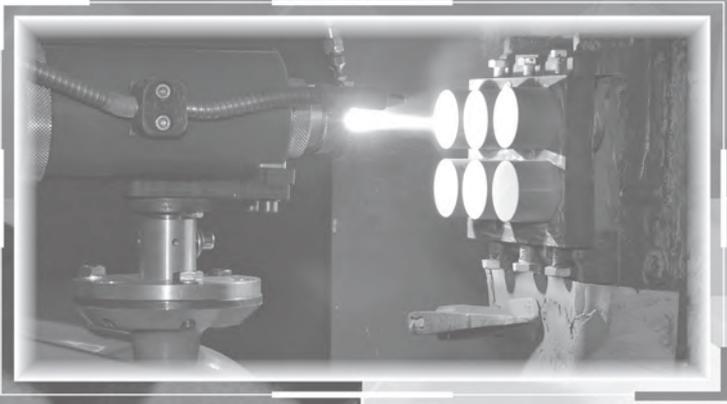
Bauteilprüfanlagen

Möbelprüfstände

Längenmessvorrichtungen

Modernisierung





Jahresmagazin
Werkstofftechnik

Ingenieur
wissenschaften
2023

ISSN 1618-8357
EUR 9,80

Herausgegeben vom Institut für Wissenschaftliche Veröffentlichungen



Inhaltsübersicht

- 20** **Aluminium – Enabler für die Energie- & Mobilitätswende**
Andrea Piontkowski
Aluminium Deutschland e.V.
- 26** **Wasserstoff: Ein Energiemittel?**
Dr. Florian Ausfelder und Dr. Andreas Förster
DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.
- 32** **Antibakterielle Dotierung verschleißfester Beschichtungen im thermischen Spritzen**
Wolfgang Tillmann¹, Jonas Frederik Zajackowski¹ und Ingor Baumann²
¹RIF Institut für Forschung und Transfer e.V., ²TU Dortmund, Lehrstuhl für Werkstofftechnologie
- 36** **Neue Werkstoffe für den 3D-Druck**
Denise Haberberger
Bergische Universität Wuppertal, Pressestelle
- 40** **Schmierstoffreduktion beim Tiefziehen**
Andreas Kormann, Christian Orgeldinger, Armin Seynstahl, Tobias Rosnitschek, Bettina Alber-Laukant und Stephan Tremmel
Universität Bayreuth, Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD
- 44** **Auf gratfreie und saubere Oberflächen kommt es an**
Doris Schulz
fairXperts GmbH & Co. KG
- 50** **Pulvermetallurgische Technologien und Werkstoffe für technische Innovationen am Fraunhofer IFAM in Dresden**
Thomas Weißgärber, Felix Heubner, Marie Franke-Jurisch, Thomas Studnitzky, Georg Pöhle, Olaf Andersen, Johannes Trapp und Gunnar Walther
Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM

Fortsetzung auf Seite 4.

Unsere Produkte sind die Lösung für Ihre thermischen Herausforderungen!

Kager

Partner der
Industrie



Kager – Ihr zuverlässiger Partner für Industrie, Handwerk, Wartung sowie Forschung und Entwicklung

Aktuell finden Sie in unserem Sortiment unter anderem diese Bestseller:

- Flexible Hochtemperatur-Isolier Textilien (Zetex-Glasfasergewebe)
- Hochtemperaturbeständige Keramik-Faserstoffe (auch biolöslich)
- Polykristalline Isoliermaterialien für sehr hohe Temperaturen
- Klebstoffe, Vergussmassen und Schutzschichten für Einsatztemperaturen bis 1760 °C (in speziellen Anwendungen auch mehr!)
- Mechanisch bearbeitbare Festkeramik-Halbzeuge (z.B. für den Prototypenbau)
- Indikatoren für die Messung und Kontrolle hoher und niedriger Temperaturen
- Korrosionsschutz- und Feuerfest-Coatings
- Messfolien für die Bestimmung mechanischer Druckbelastungen
- Messfolien für Bewertung von UV-Lichtstärken
- Flussmittel für Weichlötprozesse
- Mikrobrenner für Löt- und Schweißprozesse

... und vieles andere mehr! Werfen Sie einen Blick auf unsere aktuelle Website www.kager.de oder in die Videos unseres YouTube-Channels (Kager Industrieprodukte).

Kager GmbH Industrieprodukte

Paul-Ehrlich-Str. 10a | D-63128 Dietzenbach | Tel. +49-(0)6074-40093-0
info@kager.de | www.kager.de | Zertifiziert nach DIN EN ISO 9001:2008

Wir sind zertifiziert nach DIN EN ISO 9001:2015 und verfügen über eine AEO-Zertifizierung

Hochtemperatur-
produkte
Kälteerzeugung
Dichten und Kleben
Messtechnik
Beschichtungen
Problemlöser



www.kager.de

Inhaltsübersicht

- 60** **Reparaturschweißung von Gusseisen mit Kugelgraphit**
Dr.-Ing. Steffen Schönborn und Dr.-Ing. Christoph Bleicher
Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF
- 62** **TS-Moulding®:**
Neuartige Fertigungstechnologie für Sandwichbauteile in Großserienanwendungen
Thomas Gläßer
Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS
- 64** **Ideale Vernetzungsgrade bei Solarmodulen durch optimierte Qualitätskontrolle**
Dr. Anton Mordvinkin
Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS
- 66** **Forschungslabor in der Größe eines Fingerhuts**
Simon Schmitt
Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR)

Ingenieur wissenschaften 2023

Jahresmagazin Werkstofftechnik

Idee, Konzeption und redaktionelle Koordination:
Institut für Wissenschaftliche Veröffentlichungen (IWV)



Bildnachweis: Das jeweilige Institut;
Einblendung Titel: © Fraunhofer IFAM Dresden;
Blickfang Titel: © RIF Institut für Forschung und Transfer e.V./Jonas Zajackowski

Anzeigenverwaltung und Herstellung:

ALPHA Informationsgesellschaft mbH
Finkenstraße 10
68623 Lampertheim
Tel.: 06206 939-0
Fax: 06206 939-232
info@alphapublic.de
www.alphapublic.de

Die Informationen in diesem Magazin sind sorgfältig geprüft worden, dennoch kann keine Garantie übernommen werden. Eine Haftung für Personen-, Sach- und Vermögensschäden ist ausgeschlossen. Die einzelnen Bildquellen sind über das Institut für Wissenschaftliche Veröffentlichungen erfragbar. Die Auskunft ist kostenfrei und kann per E-Mail erfragt werden. Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, des Vortrags, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwendung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung des Werkes oder von Teilen des Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechts der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils gültigen Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechts.

Lampertheim, Juni 2023

© ALPHA Informationsgesellschaft mbH und die Autoren für ihre Beiträge

ISSN: 1618-8357
Projekt-Nr. 096-701

Inserentenverzeichnis

- 49 **Gesellschaft für Wolfram Industrie mbH** www.wolfram-industrie.de
More than just tungsten
- U2 **Hegewald & Peschke Meß- und Prüftechnik GmbH** www.hegewald-peschke.de
Prüfmaschinen – entwickelt und produziert in Deutschland
- 3 | 15 **Kager Industrieprodukte GmbH** www.kager.de
Hochtemperatur-Materialien für Forschung und Industrie
- 48 **Messe Essen** www.schweissen-schneiden.com
SCHWEISSEN & SCHNEIDEN 2023
- 65 **Messe Frankfurt** www.formnext.com
formnext 2023
- 23 **Messe Hannover** www.emo-hannover.com
EMO Hannover 2023
- 44 **Messe Karlsruhe** www.deburring-expo.de
DeburringEXPO 2023
- 35 **Messe Köln** www.hk-si.de
HK 2023 und Steel Innovation
- 11 **Messe München** www.world-of-photonics.com
LASER World of PHOTONICS 2023
- 43 **Messe Stuttgart** www.blechexpo-messe.de/www.schweisstec-messe.de
Blechexpo 2023 und 9. Schweisstec
- 7 | 24 **Mettler-Toledo GmbH** www.mt.com
Dynamische Differenzkalorimetrie zur Optimierung der Wärmekapazität

Fortsetzung auf Seite 10.



Das neue DSC 5+

Die nächste Performance-Generation

Dank des neuen MMS1-Keramiksenors können Messungen mittels Leistungskompensation oder Wärmestrom gemessen werden. Das neue DSC 5+ kann dabei völlig automatisch betrieben werden, vom Einsetzen der Proben über die Messung bis hin zur Auswertung und Darstellung der Ergebnisse.

- **FlexMode™** – DSC-Messung mittels Leistungskompensation oder Wärmestrom; frei wählbarer Messmodus, für eine optimale Auflösung u./o. höchste Empfindlichkeit der Messung.
- **Elektrische Wärmestromkalibrierung** – ermöglicht exakt wiederholbare Messungen, ohne Zusatzkalibrierung mit Referenzmaterialien und spart dadurch wertvolle Ressourcen.
- **Robuster, vollautomatischer Probenwechsler** – für eine automatische Verarbeitung von bis zu 96 Proben und 7 Referenzriegeln. Die gasgespülte Probenkammer schützt die Proben vor äußeren Einflüssen.
- **Kombikühler mit Intracooler und LN2** – die optionale Kombination beider Kühltechniken ermöglicht einen Tieftemperaturbereich bis zu -165°C und hilft dabei den LN2-Verbrauch zu reduzieren und zu optimieren.



Mettler-Toledo GmbH, Ockerweg 3, 35396 Gießen | Tel. +49 (0)641 507 444 | E-Mail: MTVerkaufD@mt.com

► www.mt.com/ta-dsc5plus

METTLER TOLEDO

RUMUL – PIONIER DER RESONANZPRÜFTECHNIK

Eine dynamische Erfolgsgeschichte. Im Jahr 1964 gründete Max E. Russenberger sein Unternehmen, dem sich bald Erwin Müller als Partner anschloss. Aus dieser Verbindung stammt das Kürzel RUMUL. Durch die ungewöhnliche Erfindergabe entstanden ganz neue Resonanzprüfmaschinen. Mit Resonanzprüfmaschinen können Proben und Bauteile mit einer dynamischen Last beansprucht werden, die meistens mit einer statischen Last überlagert wird. Aufgrund des Resonanzeffektes ist die aufgenommene Leistung sehr klein und durch die entsprechende Auslegung der Schwingssysteme ergeben sich hohe Prüffrequenzen bei minimalen Betriebskosten.



Jürg und Markus Berchtold präsentieren stolz eine weitere Innovation aus dem Hause RUMUL: die RUMUL GIGAFORTE 50.

RUMUL CRACKTRONIC – die Kleinste mit dem besonderen Dreh

Die RUMUL CRACKTRONIC ist das Tischmodell von RUMUL mit minimalem Gewicht und Platzbedarf für schnelle und kostengünstige dynamische Biegebeanspruchungen bis zu einem Biegemoment von 160 Nm. Ein elektromagnetisch angetriebener Resonator, der als Drehschwinger ausgelegt ist, erzeugt das zur Belastung notwendige reine Biegemoment. Über einen Torsionsstab kann – unabhängig vom dynamischen Antrieb – ein statisches Biegemoment auf die Probe aufgebracht werden. Ursprünglich zum Anschwingen von Bruchmechanikproben entwickelt, bietet das heutige Modell durch ein modulares Konzept die folgenden Prüfmöglichkeiten: Biegung bis 160 Nm, Torsion bis 160 Nm und Zug bis 8 kN. Neben den Standardanbaumodulen ist durch kundenspezifische Sondermodule auch die Prüfung von kleinen Bauteilen (z. B. Ventilmadeln, Einspritzdüsen, etc.) möglich.

RUMUL MIKROTRON – das universellste Leichtgewicht

Die RUMUL MIKROTRON ist die kleinere und kompaktere Ausführung der RUMUL TESTRONIC

für Prüfkraft bis 5 kN oder 20 kN. Der große Hub an der Schwingmasse ist das Hauptmerkmal dieser Konstruktion, dies resultiert in einem für Resonanzprüfmaschinen ungewöhnlich geringen Gesamtgewicht (nur ca. 30 % im Vergleich zu anderen Prüfsystemen). Der Maschinentisch erlaubt die zunehmend erforderliche Erweiterung des Anwendungsbereiches hinsichtlich der Prüfung von Bauteilen. Durch den Einbau der Steuerung in die Maschine ist die RUMUL MIKROTRON eine kompakte und somit platzsparende Lösung.

RUMUL TESTRONIC – das Original mit dem dynamischen RUMUL MAGNODYN Antrieb

Die RUMUL TESTRONIC basiert auf den neuesten Technologien der Mechanik und der Elektrotechnik und ist mit dem leistungsstarken dynamischen Antrieb „MAGNODYN“ ausgestattet. Die Maschine ist in einen statischen und dynamischen Teil gegliedert und gestattet, beliebige Spannungsverhältnisse zu fahren. Der große Maschinentisch und der anpassbare vertikale Prüfraum erlauben auch die Prüfung von größeren Bauteilen. Die RUMUL TESTRONIC ist verfügbar in den Nennlasten von 50 kN, 100 kN, 150 kN und 250 kN.

KONTAKT

**RUMUL
RUSSENBERGER
PRÜFMASCHINEN AG**
Markus Berchtold
Technischer Direktor
Gewerbstrasse 10
CH-8212 Neuhausen
am Rheinfall
Tel.: +41 (0)52 672 4659
mberchtold@rumul.ch
www.rumul.ch

RUMUL RUSSENBERGER PRÜFMASCHINEN AG

RUMUL Resonanzprüfmaschinen: einen auf einen Blick

RUMUL MIKROTRON 5 kN 20 kN	RUMUL TESTRONIC 50 kN – 250 kN	RUMUL VIBROFORTE 500 kN 700 kN 50 kN 1000 Hz	RUMUL GIGAFORTE 50 kN 1000 Hz
--	--	--	---

NEU
RUMUL TUTOS
Digitale Steuerung
mit RUMUL Fernbedienung

RUMUL CRACKTRONIC
8 kN | 160 Nm

**Vorsprung durch
Spezialisierung**
Resonanzprüfmaschinen
von RUMUL

2022

www.rumul.ch

RUMUL VIBROFORTE – das Kraftpaket mit dem innovativen bipolaren Antrieb

Die RUMUL VIBROFORTE Maschine ist in Verbindung mit den für Resonanzprüfmaschinen optimierten RUMUL Spannvorrichtungen das ideale Prüfsystem für schnelle und kostengünstige dynamische Prüfungen an Standardproben und probenähnlichen Bauteilen wie Pleuel, Ketten, Betonstähle, Schrauben etc. Die Anordnung von zwei gegenläufig arbeitenden Schwingssystemen und die Verwendung von zwei Spindeln für den statischen Antrieb bieten die folgenden Vorteile:

- erstaunlich leichte Konstruktion für eine Resonanz-Prüfmaschine mit 500 kN Nennlast (ca. 4400 kg)
- statische Maximallast entspricht der Nennlast der Maschine (u. a. Kalibrierung)
- deutlich erhöhte dynamische Leistungsfähigkeit durch zwei Magnete
- sehr ergonomische Arbeitshöhe von nur ca. 1000 mm

WELTNEUHEIT! RUMUL GIGAFORTE 50 – 100 Millionen Lastspiele in weniger als 28 Stunden

Die RUMUL Russenberger Prüfmaschinen AG stellt die weltweit erste Resonanzprüfmaschine mit einer Prüffrequenz von 1000 Hz vor. Die Schwingfestigkeit eines Werkstoffes, bzw. eines Bauteils, ist für viele Anwendungen die entscheidende Kenngröße, um eine effiziente Bauteilauslegung durch eine optimale Ausnutzung des werkstoffspezifischen Festigkeitspotentials zu gewährleisten. Ein Festigkeitsnachweis erfordert in der Regel eine statistisch abgesicherte Aussage über das zyklische

Festigkeitsverhalten im Zeit- und Dauerfestigkeitsbereich. Magneterregte Resonanzprüfmaschinen ermöglichen schnelle und sehr ökonomische Ermüdungsversuche und erlauben bisher Prüffrequenzen im Bereich von ca. 40 Hz bis 250 Hz, wobei bei ca. 120 Hz 10 Millionen Lastspiele innerhalb eines Tages möglich sind.

Mit der neuen Entwicklung RUMUL GIGAFORTE 50 benötigt man für 10 Millionen Lastspiele weniger als 3 Stunden und für 100 Millionen Lastspiele weniger als 28 Stunden, was sehr zeitnahe experimentelle Ergebnisse auch für sehr hohe Lastspielzahlen ermöglicht. Mit der Nennlast von 50 kN statisch und +/- 25 kN dynamisch können erstmals auch größere Rund- und/oder Flachproben sowie probenähnliche Bauteile schnell und in extrem kurzer Zeit geprüft werden. Die Versuche können je nach geplanter Anwendung bei allen R-Werten (Verhältnis Unterlast zur Oberlast) durchgeführt werden. Neben kraftgeregelten Versuchen sind auch dehnungs- und beschleunigungsgeregelte Ermüdungsversuche möglich.



Komponenten auf Ermüdung prüfen mit der RUMUL GIGAFORTE bei 1000Hz Prüffrequenz



Typische Proben für Ermüdungs- und Bruchmechanische Prüfungen



RUSSENBERGER PRÜFMASCHINEN AG

Vorsprung durch Spezialisierung Resonanzprüfmaschinen von RUMUL

Ihr kompetenter Partner
für Resonanzprüfmaschinen

- ◆ schnell
- ◆ kostengünstig
- ◆ wartungsfrei

Produktprogramm

- ◆ Resonanzprüfmaschinen von 5 – 700 kN
- ◆ Prüffrequenzen bis zu 1000 Hz
- ◆ Softwareprogramme für alle gängigen Anwendungen
- ◆ Zubehör für bruchmechanische Untersuchungen
- ◆ Service, Kalibrierung, Modernisierung

RUMUL
Russenberger Prüfmaschinen AG

Gewerbestrasse 10 / Rundbuck
CH-8212 Neuhausen am Rheinfall
info@rumul.ch · www.rumul.ch



Inserentenverzeichnis

- 8** **RUMUL Russenberger Prüfmaschinen AG** www.rumul.ch
RUMUL – Pionier der Resonanzprüftechnik
- 30** **Rybak + Hofmann rhv-Technik GmbH + Co. KG** www.rhv-technik.com
Optimierung 3D-gedruckter Bauteile durch Thermische Spritzschichten
- 37** **Steeltec AG c/o Swiss Steel Holding AG** www.swisssteel-group.com
Bainidur CN – Universalstahl mit minimiertem CO₂-Fußabdruck
- 47** **supfina Grieshaber GmbH & Co. KG** www.supfina.com
Oberflächen vom Feinsten
- 29** **thyssenkrupp AG** www.bluemint-steel.com
Right here. Right now.
- 18** **TÜV Hessen GmbH** www.tuev.hessen.de
Verbindlicher Klimaschutz mit Werkstoffprüfungen
- 70 | U4** **Carl Zeiss Microscopy GmbH** www.zeiss.de
Zerstörungsfreie Entschlüsselung kristallographischer Daten via XRM
- 59** **ZVO-Oberflächentage Berlin** www.oberflaechentage.zvo.org
Kongress für Galvano- und Oberflächentechnik
- 16** **ZwickRoell GmbH & Co KG** www.zwickroell.com
ZwickRoell prüft für ESA-Projekt Mondstaub als Baumaterial



MESSE
MÜNCHEN

LICHT AUF DEM NÄCHSTEN LEVEL

JETZT TICKET KAUFEN
WORLD-OF-PHOTONICS.COM/TICKET

Ein Ticket – drei Messen: Ihr Ticket zur LASER 2023 gilt auch für die
WORLD of QUANTUM, die Internationale Fachmesse für Quantentechnologien
und die automatica, die Weltleitmesse für intelligente Automation und Robotik.

27.–30. JUNI 2023, MESSE MÜNCHEN

26. Weltleitmesse und Kongress für Komponenten,
Systeme und Anwendungen der Photonik

world-of-photonics.com

LASER World of PHOTONICS



AUFBRUCH IN DIE ÄRA DER INTEGRIERTEN PHOTONIK

Ob Datenkommunikation, Sensorik für die Luft- und Raumfahrt oder autonome Fahrzeuge, ob Biophotonik oder Medizin: Die Integrierte Photonik verschiebt die Grenzen des technisch Machbaren und gilt als vielversprechender Ansatz, um den weltweit rasant wachsenden Energiebedarf des Datenverkehrs zu bändigen. Wichtige Akteure der aufstrebenden Technologie kommen vom 25. bis 30. Juni 2023 auf dem World of Photonics Congress und ab 27. Juni auf der Weltleitmesse für Komponenten, Systeme und Anwendungen der Photonik – LASER World of PHOTONICS – in München zusammen.

Auch wenn es in Naturwissenschaften keine Wunder gibt: Der EUV-(Extreme Ultra-Violet)-Belichtungsprozess, für den ein Team der LASER-Aussteller TRUMPF, ZEISS und Fraunhofer IOF den Deutschen Zukunftspreis 2020 erhielt, grenzt daran. Um modernste Halbleiterchips mit Strukturen im einstelligen Nanometer-Bereich (nm) zu versehen, werden in dem Prozess 50.000 Zinn-Tropfen pro Sekunde mit je zwei Pulsen eines Hochleistungs-CO₂-Lasers beschossen. Vom so gezündeten Zinnplasma geht die für die Chip-Belichtung erforderliche extrem kurzwellige (13,5 nm) EUV-Strahlung aus. Der Prozess basiert auf Präzisionsoptiken, die einen Laserstrahl so genau lenken könnten, dass er einen Golfball auf dem Mond treffen würde.

Dank dieser Verbindung aus Lasertechnologie und Highend-Optik stößt die Chip-Technologie in Größenordnungen vor, die das Vorstellungsvermögen sprengen. Fanden vor wenigen Jahren 10 Milliarden Transistoren Platz auf der Fläche eines Fingernagels, so nähert sich diese Zahl mittlerweile der Billionen-Grenze. Es ist die Umsetzung des Mooreschen Gesetzes, wonach sich die Zahl der Transistoren in integrierten Schaltkreisen alle 18 Monate verdoppelt. Da die Herstellung im Nanomaßstab an die Grenzen des technisch Machbaren stößt, sind „More than Moore“-Konzepte gefragt. Noch geht es um Chipdesigns, die über den Zwischenschritt 2,5-D in die dritte Dimension vorstoßen. Doch auch 3D-Chips werden auf Dauer nicht reichen, um das global stark steigende Datenaufkommen zu bewältigen.

Integrierte Photonik kann Grenzen verschieben

Ein Lösungsansatz: Die Photonik in Form integrierter photonischer Schaltkreise (photonic integrated circuits – PICs) direkt in Chips, Sensoren und andere

technische Bauelemente einzubauen, anstatt photonische Verfahren zur Herstellung elektronischer Chips zu nutzen. Eine vielversprechende und kosteneffiziente Lösung ist es, solche optischen Schaltkreise auf herkömmlichen Siliziumwafern zu fertigen. Denn die bestehende Fertigungsinfrastruktur der Halbleiterindustrie müsste nur punktuell ergänzt werden, um die lichtbasierten Schaltkreise mit etablierten Puls-Ätz-Verfahren in das optisch „schwierige“ Silizium einzubringen. Im Prinzip werden hierbei ganze photonische Systeme mit Laserstrahlquellen, Lichtleitern, Kopplern, Filtern, Signalmodulatoren, Ringresonatoren und Photodetektoren in die Chips integriert. Da sich auch diese Fertigungswelt im Nanomaßstab bewegt, ist maximale Präzision gefragt. Um sie erreichen zu können, sind iterative ineinandergreifende Design-, Validierungs- und Fertigungsprozesse erforderlich. Es bedarf vieler hundert Prozessschritte, um die nanometergenaue Ausrichtung zu erreichen und feinste thermische Korrekturoptionen auszuschöpfen. Die Enabler der optischen Schaltkreisen kommen aus der LASER-Community: Nano-Positioniertechnik, ultrapräzise Test- und Messverfahren sowie punktuell auch III-V-Halbleiter, welche das photonische Manko des Siliziums punktuell kompensieren.

Führende Anbieter von Simulations- und Design-Tools, etwa Synopsys und Cornerstone, von Fertigungslösungen (FiconTEC, finetech, LIGENTEC) sowie von Test- und Messlösungen, Positioniertechnik und Halbleitern kommen zur LASER World of PHOTONICS. Hier wird es in der Halle A2 einen Schwerpunktbereich für Integrierte Photonik sowie anwendungsorientierte Vorträge dazu geben. Und auch der World of Photonics Congress, der tausende internationale Expertinnen und Experten in München zusammenbringt, wird die Integrierte (Silizium-) Photonik ausführlich thematisieren. Denn deren Potenzial ist enorm.

Riesiges Potenzial

Weil Licht in PICs Elektrizität ersetzt, entfallen Nachteile wie die starke Wärmeentwicklung, die Wandlung von optisch fernübertragenen Daten in elektrische Signale und umgekehrt, sowie der Bauraumbedarf elektronisch-optischer Baugruppen. Und weil die Daten in miniaturisierten PICs auf zahlreichen Wellenlängen in mehreren Moden übertragen und verarbeitet werden, paaren sich höhere Geschwindigkeit, geringe thermische Effekte und optimale Integrationsfähigkeit zu einer praktischen Perspektive, um das exponentiell wachsende globale Datenvolumen weit effizienter als bisher zu bewältigen. Integrierte Photonik ist binnen eines Jahrzehnts zu einer Schlüsseltechnologie für Rechenzentren gereift. Was mit der optischen Datenübertragung in weltumspannenden Glasfasernetzen begann, ist in Form optischer Transceivern in Serverfarmen vorgerückt, sorgte dann für Chip-to-Chip-Verbindungen und rückt nun auf einzelne Mikrochips vor.

Dank der vergleichsweise geringen Wärmeentwicklung senkt die junge Technologie auch den Energiebedarf von Rechenzentren, der rund zwei Prozent des globalen CO₂-Ausstoßes verursacht. Getrieben durch diese Anwendung soll der globale Umsatz der

Silizium-Photonik laut Prognosen von Yole Intelligence bis 2027 auf 972 Milliarden US-Dollar steigen – was gegenüber 2021 einem 6,5-fachen Zuwachs entspräche.

Doch damit ist das Marktpotenzial der Integrierten Photonik bei Weitem nicht erschöpft. Angewandt auf miniaturisierte LIDAR-Sensoren rückt die Technologie in Richtung autonomer Fahrzeuge vor. Forschungslabore nutzen mikrometer-feine Nadeln mit integrierten photonischen Schaltungen, um sehr gezielt Fluoreszenzeffekte in lebendem Gewebe anzuregen. Und es gibt in aller Welt Projekte, um mithilfe von PICs smarte Implantate, miniaturisierte Diagnose- und Analysegeräte oder auch Sensoren im Miniaturformat für die Luft- und Raumfahrt, Landwirtschaft, Nahrungsmittelindustrie und viele weitere Anwendungsfelder zu entwickeln. Kurz: Die Integrierte Photonik hat das Potenzial, eine neue technologische Ära einzuläuten.

Die LASER World of PHOTONICS und die World of QUANTUM finden vom 27. bis 30. Juni 2023 parallel mit der automatica, Leitmesse für Automation und Robotik, auf dem Münchner Messegelände statt. Mit einem Ticket können alle drei Veranstaltungen besucht werden.

KONTAKT

MESSE MÜNCHEN GMBH

Fabian Tilch (Brand Manager)

Tel.: +49 (0)89 949-21487

fabian.tilch@messe-muenchen.de

www.messe-muenchen.de

Messenkalender

- 11-13** **LASER World of PHOTONICS 2023**
27. – 30. Juni 2023
26. Weltleitmesse und Kongress für Komponenten, Systeme und Anwendungen der Photonik
Messe München
- 48** **SCHWEISSEN & SCHNEIDEN 2023**
11. – 15. September 2023
Weltleitmesse Fügen · Trennen · Beschichten
Messe Essen
- 59** **ZVO-Oberflächentage Berlin**
13. – 15. September 2023
Kongress für Galvano- und Oberflächentechnik
Mercur Hotel MOA Berlin
- 23** **EMO Hannover 2023**
18. – 23. September 2023
Weltleitmesse der Produktionstechnologie
Messe Hannover
- 44-46** **DeburringEXPO 2023**
10. – 12. Oktober 2023
Leitmesse für Entgrattechnologien und Präzisionsoberflächen
Messe Karlsruhe
- 35** **HK 2023**
24. – 26. Oktober 2023
79. HärtereiKongress und 2. Steel Innovation
Messe Köln
- 43** **Blechexpo 2023**
7. – 10. November 2023
16. Internationale Fachmesse für Blechbearbeitung und 9. Schweisstec
Messe Stuttgart
- 65** **formnext 2023**
7. – 10. November 2023
Internationale Fachmesse für additive Fertigungstechnologien
Messe Frankfurt

HOCHTEMPERATUR-MATERIALIEN FÜR FORSCHUNG UND INDUSTRIE

Sechzig Seiten stark ist der aktuelle Produktkatalog, in dem das Handelshaus Kager sein breit gefächertes Sortiment an flexiblen Hochtemperatur-Materialien zusammenfasst. Anwender in Forschung, Entwicklung und Industrie finden hier eine vielseitige Auswahl an hitzefesten Keramikfaser- und Polykristallin-Halbzeugen in verschiedenen Lieferformen. Je nach Variante eignen sie sich für Einsatz- bzw. Umgebungstemperaturen von bis zu 1850° C. Hochvakuum-Spezialisten, Ofentechniker und Motorenbauer unterstützt dieses HighTemp-Portfolio ebenso bei ihrer Arbeit wie Anwender in der Sintertechnik, in der Feuerfest-Industrie, in der Isoliertechnik oder in der Keramikverarbeitung.

Der Fokus im Angebot von Kager liegt auf Halbzeug-Produkten aus Hochtemperaturglaswolle (AES/ Alkaline Earth Silicate Wool), Aluminiumsilikatwolle (ASW) und Polykristallinwolle (PCW). Je nach Werkstoffgruppe liegen die Hochtemperatur-Materialien in verschiedenen Lieferformen vor. Der Kunde kann wählen zwischen Papieren, Vliesen, Filzen und Platten in unterschiedlichen Dicken sowie losen Füllstoffen und formbaren Knetmassen.

Die Halbzeuge aus biolöslicher Erdalkalisilikatwolle (AES) sind bis 1260° C temperaturbeständig, während sich die Materialien aus bindemittelhaltiger Aluminiumsilikatwolle (ASW) für Einsatztemperaturen von bis zu 1250° C eignen. Für deutlich höhere Temperaturgrenzen ausgelegt sind die Halbzeuge aus bindemittelfreier Aluminiumsilikatwolle (bis 1500° C) und polykristalliner Wolle: Sie sind bis 1850° C hitzebeständig. Im Katalog ermöglichen treffsichere Kurzbeschreibungen, technische Datentabellen und zahlreiche anwendungsorientierte Hinweise eine schnelle Werkstoffauswahl.

Hohe Beratungskompetenz

Der Einsatz von Hochtemperatur-Materialien erfordert fundamentales Werkstoffwissen und meist viel Erfahrung. Für die Fragen der Kunden steht bei Kager deshalb ein kompetentes Beraterteam bereit, dass bei der Auswahl des richtigen Materials hilft. Die Anwender erfahren hier nicht nur, welche Materialien kennzeichnungspflichtig sind – und welche nicht –, sondern können sich auch über die werkstofftechnische Zusammensetzung der Halbzeuge informieren. Je nach Einsatzfall kann es beispielsweise wichtig sein zu wissen, dass die nicht kennzeichnungspflichtige AES-Hochtemperaturglaswolle aus



amorphen Fasern besteht, die aus Calcium-, Magnesium-, Silizium- und Zirkonoxid hergestellt werden. In ihrer reinsten Form eignet sich das Material für Temperaturen bis maximal 900° C; mit einem höheren Anteil von Magnesium- und Siliziumdioxid lässt es sich aber auch für höhere Temperaturen auslegen. Bei Fragen zum Thema Polykristallinwolle (ebenfalls nicht kennzeichnungspflichtig) erfährt der Kunde, dass deren Faser in einem Sol-Gel-Verfahren mit anschließender Wärmebehandlung gewonnen werden, wobei der Aluminiumoxid-Gehalt des Faser bei über 70 Prozent Gewichtsanteil liegt.

Übrigens: Zu den besonderen Spezialitäten von Kager gehört die Abgabe kleiner Mengen und Losgrößen von Hochtemperatur-Halbzeugen. Außerdem kann das Unternehmen seinen Kunden in Forschung, Industrie und Produktentwicklung auch bei der Herstellung fertiger Formteile aus ASW, AES oder PCW als Zulieferer zur Verfügung stehen.

Abb. 1:

Aluminiumsilikatwolle ist bis 1250° C temperaturbeständig und eignet sich beispielsweise für die Herstellung hitzefester Dichtungen, Hitzeschutzschilde oder Auskleidungen von Kokillen.

KONTAKT

KAGER INDUSTRIE-PRODUKTE GMBH
Paul-Ehrlich-Str. 10 a
D-63128 Dietzenbach
Tel.: +49 (0)6074 40093-0
Fax: +49 (0)6074 40093-99
info@kager.de
www.kager.de

ZWICKROELL PRÜFT FÜR ESA-PROJEKT MONDSTAUB ALS BAUMATERIAL

Sollte in naher Zukunft der Bau einer Basisstation auf dem Mond beginnen, könnte der Prüfmaschinenhersteller ZwickRoell daran Anteil haben. Für die österreichische Lithoz GmbH, die mit der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) kooperiert, prüfte das Unternehmen aus Ulm-Einsingen Proben aus künstlichem Mondstaub. Die Fragestellung lautete: Eignet sich das Material, um künftig per 3-D-Drucker auf dem Mond Werkstoffe und Werkzeug für den Bau einer Mondstation herzustellen?

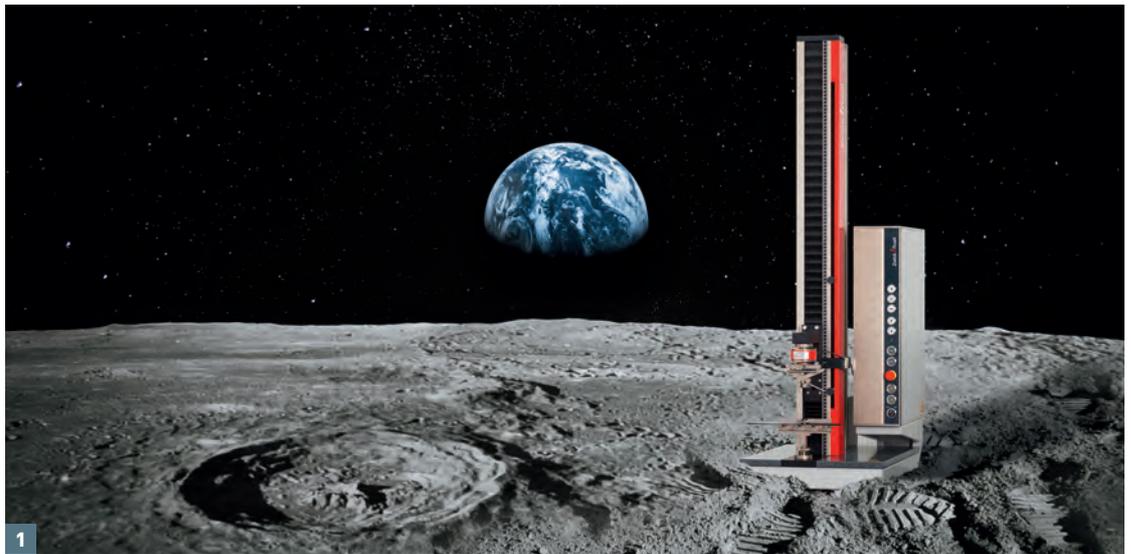


Abb. 1:
Foto: ZwickRoell

Echter Mondstaub ist unbrauchbar – Prüfungen mit synthetischem Material

Der Mond als „Sprungbrett zum Mars“ – und weiter in den Weltraum: Das ist die Vision, die hinter dem Bau einer Mondbasis steht – und zu der internationale Weltraumbehörden bereits konkrete Pläne besitzen. Doch da es teuer ist, das für den Bau benötigte Material und Werkzeug von der Erde zum Mond zu transportieren, erarbeitete die Lithoz GmbH aus Wien, als Spezialist für technische Keramik im 3D-Druck, für die Europäische Weltraumorganisation (ESA) ein Verfahren, wie sich aus synthetischem Mondstaub – per 3-D-Drucker mit LCM-Technologie – Baumaterial, Ersatzteile und Werkzeuge herstellen lassen. „Unsere LCM-Technologie ist – wenn man auf die Qualität der Ergebnisse Wert legt – führend und der Goldstandard im keramischen LCM 3D-Druck“, erläutert Johannes Homa, Geschäftsführer der Lithoz GmbH aus Wien.

Im November untersuchten ZwickRoell Prüfingenieure im Auftrag der Lithoz GmbH die Proben aus Regolith, künstlich hergestelltem Mondstaub. Diese per Sinter-Verfahren bei +1.100° C und +1.200 °C hergestellten Proben, unterscheidbar an der hellen und dunklen Braunfärbung, wurden Druck- und 3-Punkt-Biegeversuchen unterzogen, um ihre besonderen Eigenschaften in puncto Belastbarkeit zu ermitteln. Zuvor war das Material bereits in Wien geprüft worden. „Eine zweite Untersuchung ist in solchen Fällen immer sehr hilfreich und unterstützt, das Verfahren stetig zu verbessern“, erklärt Homa das Vorgehen. Warum jedoch wurden für die Prüfungen Proben aus synthetischem, also „künstlichem“ auf der Erde produzierten, Mondstaub (Regolith) verwendet? Das habe ganz simple Gründe, berichtet Homa: „Von früheren Mondmissionen existieren auf der Erde rund 400 Kilogramm Mondstaub. Dieser ist aber durch die Luft und Feuchtigkeit inzwischen kontaminiert. Auch hat er seine chemische Reaktivität verloren und ist so-

mit unbrauchbar für heutige Versuchszwecke.“ Der künstlich hergestellte Regolith besitze jedoch „zu fast 100 Prozent identische chemische, mechanische oder technische Eigenschaften und Charakteristika wie echter Mondstaub.“

Prüfergebnisse werden analysiert und mit der ESA besprochen

Zwei Tage dauerten die Prüfungen im Labor bei ZwickRoell am Standort in Ulm-Eisingen. „Für uns stellten die Materialtests mit Regolith ein Novum dar, die wir den speziellen Kundenanforderungen entsprechend aber sehr gut durchführen konnten“, resümiert Tobias Ebner, verantwortlicher Werkstoffingenieur für die Probenprüfungen des Projektes „Moon Dust“. Und er ergänzt: „Die Bewertung der Prüfergebnisse, ob und inwieweit sich das Material eignet für den Bau einer Mondstation oder es mitunter angepasst werden muss, das obliegt jetzt unserem Auftraggeber.“ Aktuell werden die Ergebnisse und Erkenntnisse der zweitägigen Qualitätstests von der Lithoz GmbH analysiert, mit der ESA besprochen und anschließend veröffentlicht.

Unternehmensgründer lernten auf ZwickRoell Prüfmaschinen

Doch wie kam es zur Kooperation zwischen dem Wiener Unternehmen und ZwickRoell? Die Verbindung „Wien – Ulm“ bestehe seit der Studienzeit der beiden Geschäftsführer Johannes Benedikt und Johannes Homa. Homa: „Wir haben schon im Studium der Materialwissenschaften mit ZwickRoell Maschinen gearbeitet. Als sehr verlässlicher und qualitätsbewusster Partner hat uns ZwickRoell sozusagen unseren Weg vom Start-up hin zum Weltmarktführer geebnet. Daher begleitet uns das Ulmer Unternehmen jetzt auch auf dieser besonderen Mond Mission.“ Wann der Bau einer Mondstation tatsächlich beginnt, steht aktuell noch in den Sternen. Aber eines sei „schon fix“. Homa: „Wer zum Mond fliegt, kommt an uns nicht vorbei. Wir möchten – im wahrsten Sinne des Wortes – nach den Sternen greifen und das Denkbare ermöglichen und weltweitmäßig mit unserer Kompetenz umsetzen. Oder lateinisch gesprochen: Per aspera ad astra („Durch die Anstrengung zu den Sternen“). Dank ZwickRoell sind wir einen großen Schritt vorangekommen.“

KONTAKT

ZWICKROELL GMBH & CO KG

August-Nagel-Str. 11
D-89079 Ulm
Tel.: +49 (0)7305 10-0
info@zwickroell.com
www.zwickroell.com

Weniger

CO₂

**Ein grüner
Fußabdruck für
Ihr Prüflabor –
CO₂ sparen durch
Modernisierung**

Zwick / Roell

www.zwickroell.com/nachhaltigkeit

VERBINDLICHER KLIMASCHUTZ MIT WERKSTOFFPRÜFUNGEN

In der öffentlichen Debatte ist globale Erwärmung allgegenwärtig. Nur wenige Themen werden ähnlich emotional diskutiert. Um den Klimawandel abzubremsen, werden vereinzelt Maßnahmen vorgenommen. Der Einsatz umweltschädlicher Kältemittel wird beispielweise beschränkt und gründlich kontrolliert – aus gutem Grund. Die bislang üblichen fluorierten Treibhausgase haben große Auswirkungen und sind äußerst klimaschädlich. Deshalb sind in der Betriebssicherheitsverordnung die entsprechenden Dichtheitsprüfungen für Kälteanlagen vorgesehen.

Der Kältemittelmarkt befindet sich im Wandel. Wurden in den vergangenen Jahrzehnten zumeist fluorierte Treibhausgase verwendet, setzt unter dem Eindruck der globalen Erwärmung ein Umdenken ein. Mit dem Montrealer Protokoll von 2016 einigten sich deshalb rund 200 Staaten auf einen schrittweisen Ausstieg aus der Verwendung von synthetisch hergestellten Kühlmitteln. Bis zum Jahr 2030 sollen höchstens 10 Prozent der eingesetzten Stoffe auf der Basis von teilfluorierten Kohlenwasserstoffen (HKFW) hergestellt werden.

Prüfung vor Inbetriebnahme

Die Dichtigkeit der Rohre und Leitungen hat daher eine enorme Bedeutung. Weil die verwendeten Kältemittel äußerst klimaschädlich sein können, schreibt die Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) gründliche Dichtheitsprüfungen vor – bereits vor der Inbetriebnahme der Anlage. Die Verordnung legt fest, dass Hersteller von Kälteanlagen notifizierte oder benannte Stellen wie TÜV Hessen bereits hinzuziehen müssen, bevor die Anlage in der eigenen Produktion oder am Aufstellungsort aus den einzelnen Druckgeräten zusammengebaut wird. Das ergibt sich ebenfalls aus der Europäischen Druckgeräterichtlinie (DGRL) 2014/68/EU.

Nach diesen Regeln sind Kälteanlagen grundsätzlich eine Baugruppe, die geprüft werden muss. Dazu zählen auch zugekaufte Maschinensätze von Kältefachbetrieben. Um als prüfpflichtiger Hersteller zu gelten, reicht es bereits, einzelne Druckgeräte und Rohrleitungen miteinander zu einem Kältemittelkreislauf zu verbinden. Schon an dieser Stelle im Produktionsprozess muss eine notifizierte Stelle eingeschaltet werden, um die Baugruppe zu zertifizieren. Die Größe des Druckgeräts und das verwendete Kältemittel entscheiden darüber, ob die Verbindung ein Zertifikat benötigt. Für den Nachweis ist eine lückenlose Dokumentation erforderlich.

Belastbare Verbindungen

Leitungen von Kälteanlagen sind häufig aus Kupfer. Das Metall ist ein Tieftemperaturwerkstoff und daher für den Einsatz in Kälteanlagen prädestiniert. Denn bei abnehmender Temperatur weist es steigende Festigkeit und Dehnung auf. Erscheinungen wie zum Beispiel Tieftemperaturversprödung sind daher bei Kupferwerkstoffen nicht möglich.

Für Rohrverbindungen in Kältemittelleitungen ist das Hartlöten unter Verwendung von KapillarlötfitTINGS die gängige Verbindungstechnik. Beim Fügeverfahren mit Hartlot als Zusatzwerkstoff zur stoffschlüssigen Verbindung metallischer Werkstücke werden Temperaturen von mehr als 450° Celsius erreicht. Damit ist das Hartlöten eine ideale Lösung für die Verbindung von Flächen. Außerdem wird dieses Verfahren oftmals für das Verbinden von Rohren mit Fittings genutzt, denn das Hartlot füllt den Zwischenraum zwischen Fitting und Rohr schnell und zuverlässig aus. Weil die Temperatur niedriger ist als bei Schweißverfahren, werden die Werkstücke zudem weniger belastet.

Das Hartlöten muss unter Verwendung von Hartloten nach DIN EN ISO 17672 erfolgen, in Ausnahmefällen können Flussmittel nach DIN EN 1045 angewendet werden. Vor und während des Verbindungsvorgangs sind die Rohrleitungen zur Vermeidung von Zunderbildung auf den Innenoberflächen mit einem Inertgas zu spülen, beispielsweise Stickstoff.

Ausbildung mit Qualität

Damit eine Kälteanlage die notwendigen Prüferkunden erhält, ist eine umfassende und vollständige Dokumentation zwingend erforderlich. Neben Schweißverbindungen werden erstmals auch andere dauerhafte Verbindungen von Werkstoffen gezählt. Hersteller von Kälteanlagen müssen deshalb

KONTAKT

TÜV HESSEN GMBH
Heinrich-Lanz-Allee 22
D-60437 Frankfurt
werkstoff@
tuevhessen.de
www.tuev-hessen.de

die vorgenommenen Lötverfahrensprüfungen nachweisen können und Mitarbeiter ihre Lötprüfungen belegen.

Zur Qualifikation des Personals zählt deshalb die Abnahme der praktischen und der fachkundlichen Hartlötprüfungen. Diese können an der Bundesfachschule Kälte-Klima-Technik absolviert werden. Die Schule bildet Meister im Kälteanlagenbauer-Handwerk aus und bietet ein Technikerstudium zum staatlich geprüften Kälte- und Klimasystemtechniker an. Für Mitarbeiter aus Fachbetrieben gibt es zudem ein umfangreiches Weiterbildungsprogramm.

Als Teil der Kooperation mit der Bundesfachschule Kälte-Klima-Technik unterstützt TÜV Hessen die Ausbildung. Das Weiterbildungsprogramm der Schule enthält verschiedene Seminare zum Thema „Verbindungstechnologien bei der Rohrinstallation für Kälteanlagen“. Dabei werden auch gelötete Prüfstücke angefertigt, zumeist Überlappverbindungen an Rohren. Um die Verbindungen herzustellen, kommt das Flammhartlöten zum Einsatz.

Prüfung im Werkstoffprüflabor

In den Seminaren erhalten die Seminarteilnehmer ein fundiertes Know-how zu den Verbindungstechniken von Rohrleitungen. Die praktische Anwendung des gelernten Stoffs weisen sie nach der absolvierten Weiterbildung mit der Hartlöt-Zertifizierung nach. Dafür erfolgen theoretische und praktische Prüfungen direkt bei der Bundesfachschule Kälte-Klima-Technik im Beisein autorisierter Lehrkräfte. Anschließend folgt die finale Abnahme der Lötstücke im Werkstoffprüflabor von TÜV Hessen gemäß DIN EN ISO 13585 und in Verbindung mit dem AD 2000-Merkblatt HP 100 R. Ob die gelöteten Verbindungen dicht sind, prüft TÜV Hessen in seinem eigenen Werkstoffprüflabor. Die Beurteilung der Prüfstücke erfolgt anhand einer Sichtprüfung und einer zerstörungsfreien Durchstrahlungsprüfung. Bei bestandener Prüfung erhalten die Seminarteilnehmer ihre Hartlöt-Prüfbescheinigung. Der Nachweis wird dabei von einem Personalzertifizierer übergeben. Die geprüften Lötstücke werden von TÜV Hessen entweder fristgemäß aufbewahrt oder vom Kunden abgeholt. Damit leistet die Hartlöt-Zertifizierung ihren Beitrag zu sicheren und umweltverträglichen Kälteanlagen.

Schadensanalyse

Mit uns schneller zum Ergebnis - von der Ursache zur Verbesserung

Mit unseren Schadensuntersuchungen und Schadensanalysen unterstützen wir Sie dabei, die Ursachen für die Schäden zu finden, diesen künftig vorzubeugen und die Qualität Ihrer Produkte zu sichern.

Ergebnisse der Schadensanalyse

- Schadensursachen ermitteln
- Zukünftige Schäden verhindern
- Schadensregulierungen unterstützen

Unsere Leistungen für Sie

- Schadensanalysen mit bewährten Prüfmethode wie z.B. REM
- Werkstoffprüfungen für Schiedsfälle und Abgleich mit Spezifikationen
- Schadensprävention zur Vermeidung von Schadensfällen

Sie haben Interesse an unseren Leistungen? Gerne informieren wir Sie ausführlich.



ALUMINIUM – ENABLER FÜR DIE ENERGIE- & MOBILITÄTSWENDE

Andrea Piontkowski, Aluminium Deutschland e. V.

Die Dekarbonisierung unserer Industrie und Gesellschaft ist die größte Herausforderung der kommenden Jahre und Jahrzehnte. Im Zuge des Green Deals sollen die CO₂-Emissionen bis 2030 um 55 Prozent gegenüber 1990 sinken, im Jahr 2050 soll Europa klimaneutral sein. Auch Deutschland hat sich diesbezüglich äußerst ehrgeizige Ziele gesteckt. Zwei der größten Stell-schrauben dieser Transformation sind die Energie- und die Verkehrswende.

Wenn es um die Klimabilanz und Energieversorgung geht, ist seitens der Bundesregierung derzeit vorgesehen, dass 2030 bereits 80 Prozent des deutschen Stromverbrauchs aus Erneuerbaren Energien, bevorzugt Wind, Solar, Wasser und Biomasse, gedeckt werden. Bis 2045 soll das Land dann planmäßig klimaneutral sein. Neben den längst bekannten Risiken des Klimawandels hat der russische Angriffskrieg zusätzlich die Dringlichkeit einer Transformation weg von fossilen Energieträgern hin zu den Erneuerbaren nochmal drastisch verdeutlicht. Wirtschaft und Privatverbraucher leiden beide unter den massiv gestiegenen Energiepreisen. Es scheint also, dass sich derzeit Politik, Wirtschaft und Gesellschaft, zumindest im Grundgedanken, einig sind wie selten zuvor: Deutschland und Europa müssen die Energiewende so schnell wie möglich vollziehen, weg von fossiler Energie und hin zu erneuerbaren Energien. Ein rascher Ausbau der Erneuerbaren findet grundsätzlich breite Unterstützung, nur an der Umsetzung hapert es derzeit. Neben Debatten um bürokratische Hürden, entsprechende Förderungen oder Fachkräftemangel ist die Frage, wo und wie die benötigten Kapazitäten an Windrädern oder Solarpanelen überhaupt produziert werden von entscheidender Bedeutung. In diesem Zusammenhang ist insbesondere der grundlegende Aspekt der dafür nötigen Rohstoffversorgung zu beleuchten. Auf politischer Ebene findet eine solche Debatte zwar bereits statt, oftmals werden aber bevorzugt Materialien wie Lithium, Kobalt oder seltene Erden als der strategische Knackpunkt betrachtet. Andere, gerne als vermeintlich „alltäglich“ gesehene Stoffe, finden hingegen weniger Beachtung. Wir blicken daher einmal auf die nötige Versorgung mit einem gerne übersehenen, aber nicht weniger relevanten Werkstoff – Aluminium. Dieser fällt in der Debatte um kritische Rohstoffe häufig unter den Tisch. Dabei ist Aluminium ein

absoluter Schlüsselwerkstoff für die Energiewende. Wir wollen daher einmal veranschaulichen, wie viel Aluminium Deutschland benötigen wird, um den geplanten Ausbau umzusetzen.

Wie viel Aluminium braucht die Energiewende?

Im Zuge der grünen Transformation unserer Wirtschaft wird der Strombedarf in den kommenden Jahren deutlich zunehmen, da Industrieprozesse, Wärmeerzeugung oder der Verkehr verstärkt elektrifiziert werden. Im Jahr 2021 stammten hierzulande immerhin schon knapp 41 Prozent des Stroms aus Erneuerbaren Energien. Für 2030 geht die Bundesregierung unter Berücksichtigung des gesteigerten Bedarfs von rund 600 Terrawattstunden allein aus erneuerbaren Energien aus. Zwar wird dieser nicht ausschließlich von Wind und Solarenergie gedeckt, dennoch wird der angestrebte Ausbau dieser Energieformen den Bedarf an Aluminium in den kommenden Jahren deutlich steigern.

Insbesondere der Ausbau der Solarenergie wird dabei künftig den größten Mehrbedarf an Aluminium verzeichnen. Für diesen Sektor sind auch die größten Kapazitätserweiterungen vorgesehen. Derzeit liegt die deutschlandweite Gesamtkapazität bei 55 Gigawattstunden. Im Zuge der Energiewende sollen, nach aktuellem Stand, die Photovoltaik-Kapazitäten bis 2030 auf 215 Gigawattstunden und damit massiv ausgebaut werden.

Um allerdings die angestrebten 215 Gigawattstunden zu gewährleisten, beträgt der Mehrbedarf an Aluminium daher allein in diesem Sektor über 1 Mio. Tonnen. Hinzu kommt ein Mehrbedarf von ca. 40.000 Tonnen für den geplanten Ausbau der Windenergie bis 2030.

Aluminiumbedarf der Verkehrswende

Die Verkehrswende stellt die zweite große Herausforderung in der Transformation hin zu einer dekarbonisierten Gesellschaft dar. Es ist vor allem dieser Bereich, in dem wir den stärksten Mehrbedarf an Aluminium verzeichnen. In einem Verbrenner sind rund 172,1 Kilogramm Aluminium verbaut. Elektrisch angetriebene Fahrzeuge hingegen haben einen rund doppelt so hohen Aluminiumbedarf. Bis 2030 will die Bundesregierung mindestens 15 Millionen vollelektrische Pkw (BEV), das heißt keine Plug-in-Hybride, auf Deutschlands Straßen bringen – 2022 waren es rund 0,6 Mio. Fahrzeuge. In Folge benötigen wir allein für den Hochlauf der Elektromobilität nur in Deutschland bis 2030 über 5 Mio. Tonnen Aluminium. Insgesamt macht das einen Bedarf von über 6 Mio. Tonnen Aluminium bis 2030, den es zu decken gilt. Um diese Zahl einmal in Relation zu setzen, in Deutschland liegt die Produktionskapazität derzeit noch bei über 500.000 Tonnen pro Jahr. Über den hier genannten Mehrbedarf hinaus werden zudem andere Bereiche, wie etwa das Bauwesen oder die Erweiterung des Schienenverkehrs, um nur Einige zu nennen, ebenfalls einen steigenden Bedarf verbuchen. In anderen Worten, Aluminium ist ein essenzieller Schlüsselwerkstoff, ohne den die Energiewende und eine Transformation von Industrie und Gesellschaft schlicht unrealisierbar ist.

Gleichzeitig ist der Aluminiumstandort Deutschland in akuter Gefahr. Hiesige Produzenten benötigen vor allem Strom- und Gaspreise auf einem international wettbewerbsfähigen Niveau. Der Krieg in der Ukraine hat die ohnehin hohen Energiepreise auf ein nahezu prohibitives Niveau schnellen lassen. Insbesondere die Primärhütten waren und sind aufgrund ihrer Energieintensität besonders hart getroffen und stehen mit dem Rücken zur Wand. So bedarf die Produktion einer Tonne Aluminium etwa 15 Megawattstunden Strom. Zu Spitzenzeiten der Energiekrise schossen allein die Stromkosten auf bis zu 9.000 Euro pro Tonne. Im selben Zeitraum lag der Preis für Aluminium an der Börse allerdings nur bei 2.400 bis 2.500 Euro pro Tonne.

Im Vergleich ist die weiterverarbeitende Industrie oftmals eher gas- als stromintensiv. Auch hier haben vor allem die hohen Gaspreise deutliche Probleme bereitet. Zuvor betrug der Kostenanteil von Strom und Gas in der weiterverarbeitenden Industrie im Schnitt fünf Prozent der Produktionskosten, im Laufe der Energiekrise sind es aber bis zu 30, 40 oder gar 50 Prozent geworden.

Die Situation an den Energiemärkten hat sich zwar in letzter Zeit etwas entspannt, dennoch sind die Preise noch lange nicht auf ein wirtschaftliches Level gesunken. Zudem stellt die fehlende Planungssicherheit für Unternehmen auch weiterhin ein gro-

Abb. 1: Bedarf an Aluminium für Solarenergie



Bes Problem dar. Eine repräsentative Umfrage innerhalb unserer Mitgliedschaft hat ergeben, dass 87 Prozent der Unternehmen die Möglichkeit, langfristige Lieferverträge abzuschließen, als nicht gut beurteilen. Insbesondere die äußerst stromintensiven Primärhütten sehen sich an den Rand der Existenz gedrängt. Im Laufe des letzten Jahres mussten die Betreiber ihre Fertigung deutlich zurückfahren – im letzten Quartal sogar um mehr als die Hälfte. Auch die gutgemeinte aber äußerst unzureichenden Energiepreisbremsen haben dem wenig bis gar nichts entgegengesetzt. Grund hierfür ist unter anderem deren hohe Komplexität und der damit verbundene bürokratische Aufwand. Darüber hinaus ist der Zugang zu den entsprechenden Förderbeträgen an eine ganze Reihe an komplexen und schwer zu erfüllenden Bedingungen geknüpft. Zudem sind gerade für die stromintensiven Primärproduzenten das Strompreisniveau der Bremsen weit weg von einem Niveau, das eine wettbewerbsfähige Produktion in Deutschland zulässt. Knapp zwei Drittel der Umfrageteilnehmer halten die Energiepreisbremsen daher nicht für ein geeignetes oder hilfreiches Instrument. Dem Aluminiumstandort Deutschland droht infolgedessen der Verlust eines großen Teils seiner Primärproduktion. Allein im vergangenen Jahr 2022 sank die Produktion auf rund 341.000 Tonnen. Das

entspricht einem Rückgang von – 33 Prozent. Für manche hingegen, ist es bereits zu spät. So hat eine von Deutschlands bis dahin vier verbleibende Hütten erst kürzlich verkündet, die Produktion zum Jahresende endgültig herunterzufahren. Damit verlieren wir hierzulande eine der größten Primärhütten. Sollte sich die Situation am Industriestandort Deutschland nicht bald verbessern, droht weiteren Standorten über kurz oder lang das Aus. Noch haben wir hier den großen Vorteil, die komplette Lieferkette, von der Hütte bis hin zum fertigen Endprodukt zu beheimaten. Ein Schließen der verbliebenen Hütten oder Abwandern der weiterverarbeitenden Industrie würde nicht nur einen gewaltigen Verlust an qualifizierten Arbeitsplätzen und industriellem Know-how bedeuten. Zudem würde Deutschland sich auch noch stärker als ohnehin schon in eine Rohstoffabhängigkeit begeben. Von politischer Seite scheint das aber als wenig problematisch gesehen zu werden. Wie oben verdeutlicht, ist Aluminium ein absoluter Schlüsselwerkstoff, für die Energiewende und die Elektromobilität. Dessen Bedeutung fällt allerdings in der aktuellen Debatte rund um die deutsche Rohstoffstrategie gerne unter den Tisch. Fakt ist jedoch, ohne diesen Werkstoff wird der Ausbau der Erneuerbaren Energien und die Umsetzung der Energiewende unmöglich werden.

KONTAKT

ALUMINIUM DEUTSCHLAND E. V.

Andrea Piontkowski
Fritz-Vomfelde-Straße 30
D-40547 Düsseldorf
Tel.: +49 (0)211 4796-0
andrea.piontkowski@alu-d.de
www.aluminiumdeutschland.de



EMO
HANNOVER
18-23/09/2023



Hello visitors!

Welcome to the world's leading trade
fair for production technology.

Innovate Manufacturing.

www.emo-hannover.com

Eine Messe des
A Fair by

VDW

DYNAMISCHE DIFFERENZKALORIMETRIE ZUR OPTIMIERUNG DER WÄRMEKAPAZITÄT

Autor: Matthias Wagner, Product Manager, MatChar

Metalllegierungen können zur Speicherung von Wärmeenergie eingesetzt werden, die während der Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen anfällt. Die Speicherkapazität einer Legierung ist abhängig von den thermodynamischen Eigenschaften der verwendeten Materialien und kann durch die dynamische Differenzkalorimetrie (DSC) bestimmt werden.



Abb. 1:
Das neue thermische
Analysesystem DSC 5+
von METTLER TOLEDO

der Entladung als Kristallisationswärme freigesetzt. Dazu müssen die genauen thermodynamischen Werte einer Legierung wie z. B. Wärmekapazität, Schmelzenthalpie und Übergangstemperatur bekannt sein. In diesem Beispiel werden mittels DSC die Eigenschaften einer Aluminium-Kupfer-Silizium (AlCuSi) Legierung bestimmt.

Charakterisierung von AlCuSi-Legierungen

AlCuSi-Legierungen weisen beim Phasenwechsel eine hohe Wärmespeicherkapazität auf und speichern Energie abhängig von der jeweiligen Schmelzenthalpie des Materials (latente Wärmekapazität). Die Speicherkapazität dieser Phasenwechselmaterialien (PCM) ist die Summe ihrer Kapazität für sensible und latente Wärme. Die Kapazität für sensible Wärme wird durch die spezifische Wärmekapazität (c_p) bestimmt, die latente Wärmekapazität durch die Schmelzenthalpie des Phasenwechsels.

Die Wärmestromkurven eines DSC-Kühlvorgangs und zweiten Heizvorgangs sind in **Abb. 2** abgebildet. Die AlCuSi-Legierung zeigt bei 510 °C eine eutektische Schmelze, gefolgt von einem breiten Schmelzpeak und einem Plateau. Der Schmelzbereich liegt zwischen 509 °C und 527 °C. Das beobachtete komplexe Schmelzverhalten lässt sich durch die Zusammensetzung der Legierung und durch Unreinheiten erklären. Die Schmelzenthalpie oder latente Wärmekapazität beträgt 404 J/g. Die Kühlkurve weist drei Peaks auf. Die beiden kleineren Peaks bei 518 °C und 530 °C gehen auf die Erstarrung von Hartmetallen aufgrund von Unreinheiten zurück.

Definition eines Wärmespeichers

Das obere Diagramm in **Abb. 3** zeigt c_p für den festen (unter 500 °C) und flüssigen (über 540 °C)

KONTAKT

METTLER-TOLEDO GMBH

Ockerweg 3
D-35396 Gießen
Tel.: +49 (0)641 5070
www.mt.com/
TA-DSC5Plus

Beim Einsatz von erneuerbaren Energien müssen Speicher eingesetzt werden, um überschüssige Wärme zu speichern. Diese Speichersysteme bestehen z. B. aus Stahlrohren, die mit einer Metalllegierung gefüllt sind. Aufgrund ihrer Wärmekapazität speichern die Rohre Wärme. Die Legierung wirkt zusätzlich als Latentwärmespeicher: sie schmilzt bei einer bestimmten Temperatur und nimmt weitere Wärmeenergie auf. Diese wird dann während

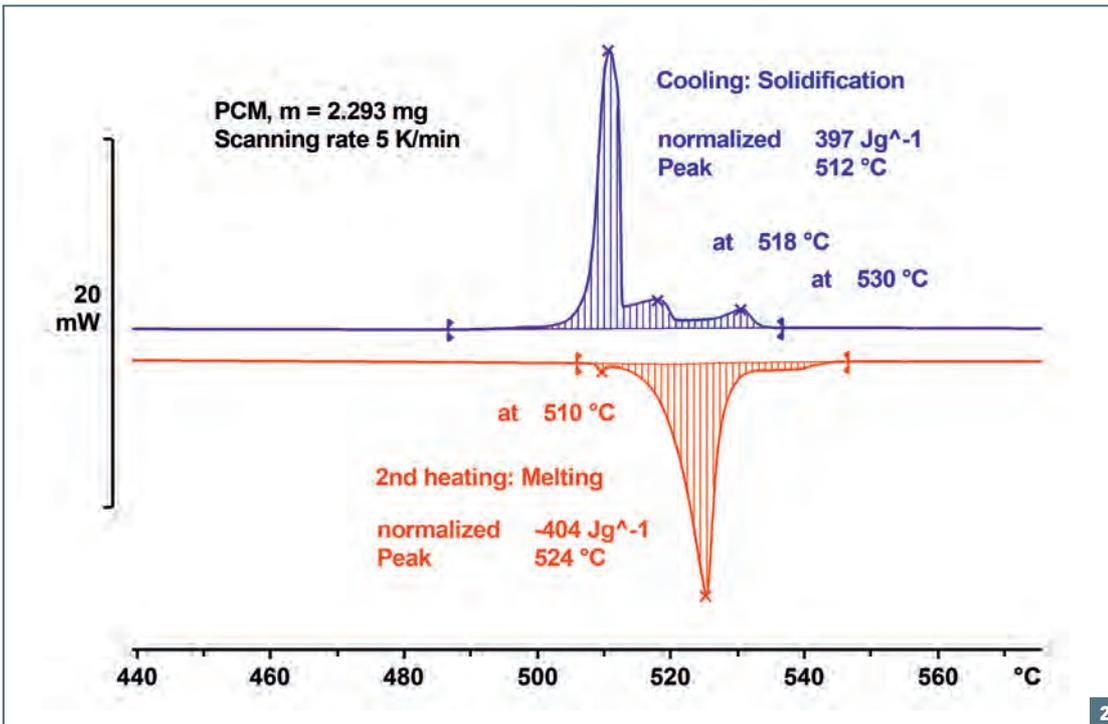


Abb. 2: Wärmestromkurven der AlCuSi-Legierung beim Abkühlen (blau) und dem darauffolgenden 2. Aufheizen (rot)

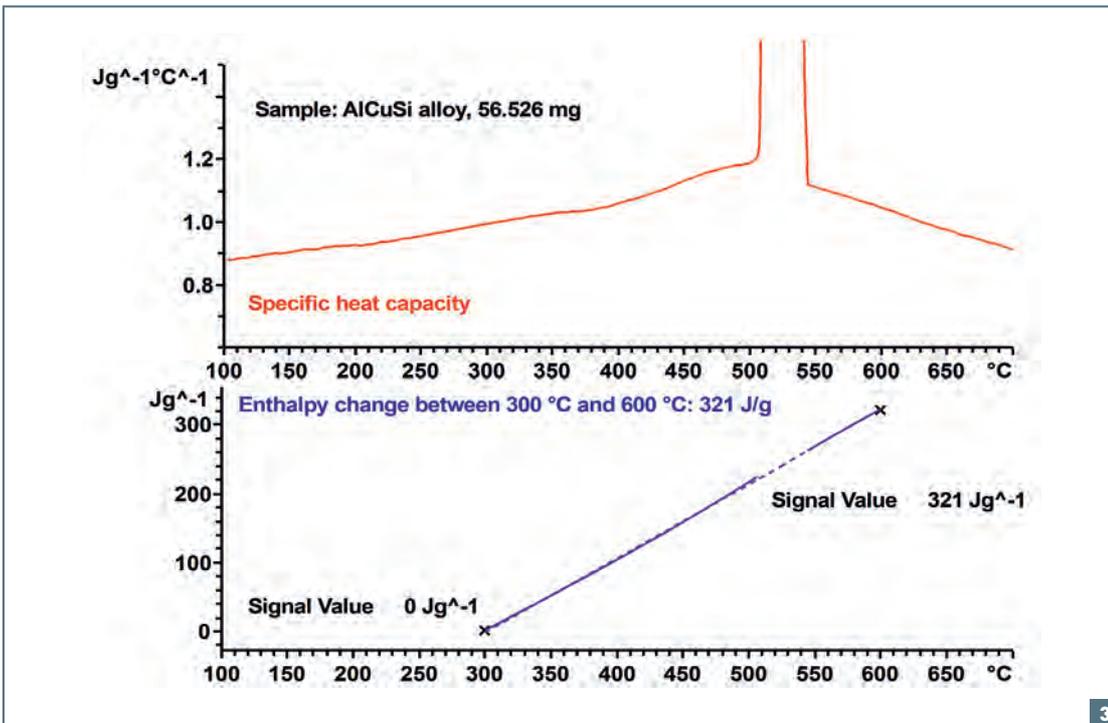


Abb. 3: Spezifische Wärmekapazität (oben) und Enthalpie (unten) der AlCuSi-Legierung

Aggregatzustand. Die Zu- und Abnahme von c_p unterhalb und oberhalb des Schmelzpunkts sind typisch für Metalllegierungen. Die Enthalpiekurve kann wie im unteren Diagramm dargestellt über die Integralfunktion der c_p -Kurve berechnet werden. Im Schmelzbereich zwischen festem und flüssigem Aggregatzustand ist die Kurve gestrichelt. Beispielsweise ergibt sich für die Änderung der Enthalpie

zwischen 300 °C und 600 °C ein Wert von 321 J/g. Für diesen Temperaturbereich ergibt die Summe der Kapazitäten für sensible und latente Wärme eine Speicherkapazität von 725 J/g. Die Speicherkapazität der AlCuSi-Legierung kann durch die Nutzung der latenten Wärme somit mehr als verdoppelt werden. Dies steigert den Wert des Speichers für überschüssige Energie.

WASSERSTOFF: EIN ENERGIEMITTEL?

Dr. Florian Ausfelder und Dr. Andreas Förster, DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.

Im Jahr 1991 leitete Günter Beckmann vom Unternehmen Hüls aus Marl (heute Evonik) seinen Beitrag in den Nachrichten aus der Chemie über Wasserstoff so ein: [1] „Ist Wasserstoff das Energiemittel der Zukunft? Leider muss man diese Frage verneinen. Zwar ist das leichteste aller Gase eine interessante Chemikalie, deren Verwendungsvielfalt noch steigen wird – eine Sonderchau auf der diesjährigen ACHEMA ist der Wasserstofftechnik gewidmet –, doch bedeutet das nicht, dass die anderen Energiemittel durch Wasserstoff verdrängt oder beherrscht werden. Eine Wasserstoffwelt wird es nicht geben.“

Aus damaliger Sicht waren sowohl die verfügbare Menge an Wasserstoff als auch die Wirtschaftlichkeit der Herstellung Argumente gegen eine Wasserstoffwirtschaft. Stattdessen rückte Beckmann eine direkte Nutzung von Strom aus erneuerbaren und nichtfossilen Quellen in den Vordergrund.

Viele der Aussagen des Artikels stimmen heute noch: die Notwendigkeit, Energie zu sparen und fossile Brennstoffe, nachwachsende Rohstoffe und Abfallstoffe rationell zu nutzen und dazu Energien wie Kernkraft, Wasserkraft, Windkraft und Photovoltaik. Die Rolle des Wasserstoffs muss allerdings aus heutiger Sicht revidiert werden. Wasserstoff ist ein wesentliches Element in einem künftigen Energiesystem.

Baustein für die Energiewende

Wasserstoff lässt sich vielfältig nutzen: Als Energieträger lässt er sich ähnlich wie Erdgas transportieren und speichern, er dient zum Speichern volatilen, erneuerbar erzeugten Stroms, als Brennstoff zur Strom- und Wärmeerzeugung, als Kraftstoff in der Mobilität und im Rahmen seiner stofflichen Eigenschaften als Rohstoff für Chemie- und Raffinerieprodukte oder als Reduktionsmittel in der Metallurgie. Dementsprechend analysieren viele Akteure die technischen und wirtschaftlichen Grenzen der Wasserstoffnutzung. Dies ist im Einklang mit der politischen Agenda, die auf grünen Wasserstoff als Baustein für die Energiewende und die Transformation zu einer treibhausgasneutralen Gesellschaft setzt. [2,3]

Die erklärten Ziele zum Ausbau der Wasserstoffwirtschaft sind nur der Anfang einer technischen Revolution. Wie diese Wasserstoffwirtschaft ausse-

hen könnte, untersucht das von den Bundesministerien für Bildung und Forschung (BMBF) sowie für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) getragene und von der Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, Acatech, und der DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie bearbeitete Projekt **H2-Kompass**.

Das Konzept grünen Wasserstoffs beruht auf der ausschließlichen Nutzung erneuerbar erzeugter Energien, um diesen zu erzeugen. Mit diesem Strom wird Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. Fragen zur Nutzung von Off-Shore-Windpotenzialen, um Wasserstoff und Folgeprodukte herzustellen, verfolgt das BMBF-Leitprojekt **H2Mare** mit Beteiligung der DECHEMA. Daneben entsteht Wasserstoff als Koppelprodukt, etwa in der Chlor-Alkali-Elektrolyse. Eine Herausforderung bei der Wasserelektrolyse besteht im Übergang zu größeren Elektrolyseureinheiten. Die Techniken, die für eine Massenfertigung von Elektrolyseuren entwickelt werden, sind ein Forschungsthema im **H2Giga-Leitprojekt** des BMBF, in dem die DECHEMA die Vernetzungsplattform koordiniert.

Darüber hinaus wird an Verfahren geforscht, die Wasserstoff biotechnisch oder photokatalytisch erzeugen. Vor einer industriellen Anwendung sind hier aber noch Entwicklungsschritte zu durchlaufen. Für die Grundlagenforschung zentral ist das **Forschungsnetzwerk Wasserstoff des BMWK**, das über seine Mitglieder eine Zusammenfassung der Fragen dazu erstellt hat. [4]

Elektrolysieren und Speichern

Um Wasserstoff als temporären Stromspeicher fluktuierender Strommengen zu nutzen, bedarf es eines

schnellen Elektrolyseprozesses und einer Speicheroption. Über Brennstoffzellen oder Verbrennen in wasserstofftauglichen Gasturbinen lässt sich wieder Strom gewinnen.

Großtechnisches Implementieren neuer Wasserstofftechnologien ist mit technischen, ökonomischen und regulatorischen Unsicherheiten behaftet. Daher ist das Konzept der Reallabore der Energiewende des BMWK wichtig, das die Demonstration im industriellen Umfeld fördert. Die übergreifende Transferforschung hierzu führt ein Konsortium in Tran4ReaL unter Beteiligung der DECHEMA durch.

Mit einem Leitungsnetz könnte Wasserstoff eine ähnliche Rolle wie heute Erdgas einnehmen. Die Untersuchung künftiger Wasserstofftransporttechniken ist das zentrale Thema des BMBF-geförderten Leitprojekts TransHyDE, in dem die DECHEMA den Verbund Systemanalyse koordiniert.

Die Nutzung von Wasserstoff in Brennstoffzellen für Transport wird zurzeit intensiv untersucht. Ein Beispiel ist der Nahverkehr in Frankfurt und Umgebung, der zum kommenden Winterfahrplan 2022/2023 die weltweit größte wasserstoffbetriebene Zugflotte mit 27 Zügen startet. [5]

In der Roheisenerzeugung kann Wasserstoff den bisher verwendeten Koks als Reduktionsmittel ersetzen und ist damit eine Option für die treibhausgasneutrale Stahlproduktion. Neben der etablierten Nutzung in der Petrochemie lassen sich aus Wasserstoff und CO₂ organische Basischemikalien und Kraftstoffe herstellen; diesem Forschungsgebiet widmet sich seit dem Jahr 2016 das **Kopernikus-Projekt P2X**, mitkoordiniert von der DECHEMA.

Fehlende Leitungen

Auf übergeordneter Ebene konkurriert Wasserstoff in jedem der Anwendungsfelder mit etablierten

Abb. 1:

Fotos (v.l.o.n.r.u.):
Siemens Energy, Thyssenkrupp, H-Tec Systems, ITM Power Linde, Sunfire.



Verfahren und alternativen Konzepten. Die fossilen Energieträger haben Vorteile: Es gibt weitverzweigte weltweite Transport- und Transformationsstrukturen, günstige Kosten aufgrund etablierter Skaleneffekte (Economy-of-Scale), und der Energiegehalt ist im Molekül enthalten. Aber diese Vorteile gehen mit der Klimawirkung durch CO₂-Emissionen einher. Wasserstoff hingegen wird zurzeit primär lokal erzeugt und genutzt. Ein Leitungsnetz existiert kaum und schon gar nicht in der Dimension, wie sie für die Umsetzung einer Wasserstoffwirtschaft nötig ist. Um die Nachteile für den Transport gasförmigen Wasserstoffs zu vermeiden, kann er verflüssigt oder in eine Trägersubstanz überführt werden, etwa in Ammoniak, Methanol, flüssige organische Wasserstoffträger (LOHC) oder Fischer-Tropsch-Synthese-Produkte. Dies muss allerdings mit den damit einhergehenden zusätzlichen Voraussetzungen, Verlusten und Aufwendungen – sowohl energetisch als auch technisch und finanziell – in Einklang gebracht werden.

Die Entscheidung, ob eine direkte Elektrifizierung (elektrischer Strom) oder eine indirekte Elektrifizie-

rung über H₂- oder PtX-Produkte ökonomisch und ökologisch am sinnvollsten ist, ist für den jeweiligen Anwendungsfall zu treffen. Generell ist es nicht einfach, elektrische Energie in Volumen einzubringen (etwa über Induktion oder Elektrolichtbogenofen), und viele Verfahren der Prozessindustrie, insbesondere die energie- und emissionsintensiven Verfahren sind Volumenprozesse. Es werden also weiterhin stoffliche Energieträger benötigt, genauso wie Materialien und Chemikalien, zu deren Erzeugung Wasserstoff wichtig sein wird. Aus diesem Grund bildet die Wasserstoffwirtschaft das Thema der Sonderschau der ACHEMA 2024, in der die aktuellen Projekte aus Forschung und Industrie vorgestellt werden und sich die Community vernetzt. Darüber hinaus wird der ACHEMA-Kongress das Thema Wasserstoff aus unterschiedlichen Perspektiven beleuchten.

Dieser Beitrag ist in der Septemбераusgabe der Nachrichten der Chemie erschienen und online verfügbar unter <https://gdch.app/article/wasserstoff-ein-energiemittel-4129475>.

LITERATUR

1. G. Beckmann, Nachr. Chem. 1991, 39, 503
2. https://bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=20
3. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0301&from=EN>
4. <https://www.forschungsnetzwerke-energie.de/>
<https://t1p.de/vyu2s>
5. <https://www.infraserv.com/de/unternehmen/nachhaltigkeit/wasserstoffversorgung-brennstoffzellenzuege/>

KONTAKT

DECHEMA E.V.

Simone Angster (Leitung Kommunikation)

Theodor-Heuss-Allee 25

D-60486 Frankfurt am Main

Tel.: +49 (0)69 7564-540

simone.angster@dechema.de

www.dechema.de



RIGHT HERE. RIGHT NOW.

Mit bluemint® Steel schon heute
bis zu 70% CO₂ einsparen.*

bluemint-steel.com



bluemint® Steel

Viel Qualität. Weniger CO₂.



thyssenkrupp

*CO₂-Einsparung bilanziell allokiert und zertifiziert.

OPTIMIERUNG 3D-GEDRUCKTER BAUTEILE DURCH THERMISCHE SPRITZSCHICHTEN

Die Entwicklung des 3D-Drucks verbindet kaum jemand mit dem Thermischen Spritzen. Dabei kommt im Metall-3D-Druck oft dasselbe Pulver zum Einsatz, wie es beim Thermischen Spritzen bereits seit Jahrzehnten verwendet wird. Die Rybak + Hofmann rhv-Technik GmbH + Co. KG hat ihre Erfahrung im Thermischen Spritzen nun genutzt, um Lösungen zu finden die Beschichtungen sowohl auf Metall- als auch Kunststoff-3D-gedruckte Bauteile aufzutragen, -eine Methode Ihre Werkstücke zu perfektionieren.



Thermische Spritzschichten werden häufig dann genutzt, wenn die Eigenschaften unterschiedlicher Bauteile optimiert werden sollen. Das Ziel der Beschichtung kann von einer Erhöhung der Verschleißbeständigkeit über Korrosionsschutzschichten bis hin zu Temperaturschutz- und Isolationsschichten oder einer Verbesserung der Gleiteigenschaften reichen. Auch eine Kombination der verschiedenen Ziele ist durch eine geschickte Werkstoffwahl und die Möglichkeit von Schichtsystemen realisierbar. Die große Bandbreite an Beschichtungszielen wird durch eine beinahe grenzenlose Auswahl an den zu beschichtenden Substratmaterialien und den zur Verfügung stehenden Beschichtungswerkstoffen ergänzt. Zudem ist je nach Anforderung eine Schichtdicke zwischen 30 und 3000 µm möglich. Diese Variationsbreite hebt das Thermische Spritzen von anderen Beschichtungstechnologien ab.

Auch wenn die Materialauswahl im 3D-Druck Bereich kontinuierlich ansteigt, sind trotzdem heute noch nicht alle Materialien einfach druckbar. Zudem werden die teuren Materialien oft nur an der Oberfläche des Bauteils benötigt. rhv-Technik hat dieses Potenzial einer Thermischen Spritzschicht erkannt und konnte eine Methode entwickeln Spritzschichten auch auf den unterschiedlich-

ten 3D gedruckten Bauteilen aufzutragen. Sowohl Kunststoff-3D-gedruckte Bauteile als auch im Metall 3D-Druck entstandene Werkstücke können thermisch beschichtet werden. Möglich ist dies, indem feine Spritzpartikel angeschmolzen und mit hohen Geschwindigkeiten auf die Bauteile geschossen werden. Dadurch kühlen die Spritzpartikel schnell ab, wodurch die Substratoberfläche kaum erhitzt wird. Die Bauteile können zudem gekühlt werden. Dadurch können neben Metallen wie Molybdän (Mo), auch Hartmetalle wie Wolframcarbid-Cobalt (WC-Co) oder Keramiken wie Zirkonoxid (ZrO_2) auf die Substrate aufgetragen werden. Da sich die Bauteile während der Beschichtung kaum erhitzen, führen weder die anisotropen Wärmeausdehnungen der meisten 3D-gedruckten Bauteile noch niedrigschmelzende Werkstoffe zu großen Problemen. Sollte kein 3D-Drucker bei Ihnen vorhanden sein, bietet rhv-Technik auch die Fertigung Ihrer Produkte im hauseigenen 3D-Drucker-Ressort an.

Die Vorteile des Thermischen Spritzens und des 3D-Drucks können auf diese Weise miteinander verknüpft werden. Damit können beispielsweise leichte Kunststoffbauteile gedruckt und verschleißbeständig beschichtet werden. Reicht der Kunststoff-3D-Druck nicht aus, können auch 3D-gedruckte Metallbauteile beschichtet werden, um Gleiteigenschaften, Verschleißbeständigkeit oder Temperaturbeständigkeit zu verbessern. Somit kann durch die Kombination verschiedener Technologien mit dem Thermischen Spritzen ein neues Potenzial der Bauteile geschaffen werden. Dies wurde auch in der deutschen 3D-Druck Challenge 2022 erkannt und die Methode mit dem 1. Platz ausgezeichnet.

Spritzgerechte Konstruktion

Um eine optimale Beschichtung auf die 3D-gedruckten Bauteile auftragen zu können, bietet es

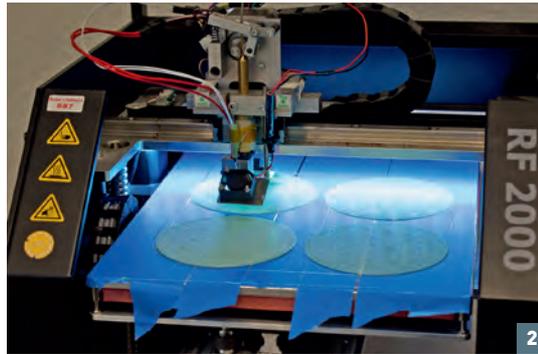
KONTAKT

**RYBAK + HOFMANN
RHV-TECHNIK GMBH
+ CO. KG**

Florian Klimmer
Eisentalstraße 27
D-71332 Waiblingen
Florian.Klimmer@
rhv-technik.de
www.rhv-technik.com

sich an die Gestaltungsfreiheiten der additiven Fertigung zu nutzen, um die Werkstücke von vorneherein spritzgerecht zu fertigen.

Dazu gehört vor allem das Vermeiden scharfer Kanten und enger Radien, sowie eine gute Zugänglichkeit der Beschichtungsflächen mit der Spritzpistole. Je nach Bauteil und gewünschter Schicht, ist es möglich die Beschichtung nachträglich mechanisch durch Drehen oder Schleifen zu bearbeiten. Dadurch sind glänzende Schichten und noch genauere Maße möglich.



Laserpolieren

Das Familienunternehmen rhv-Technik verfolgt eine stetige Forschungs- und Entwicklungsstrategie. Aktuell beschäftigen wir uns beispielsweise auch mit der Entwicklung eines neuartigen und innovativen Nachbearbeitungsverfahrens von thermischen Spritzschichten mittels Laserpolieren. Dies führt unter Anderem zu einer verdichteten Schicht. Ziel des Projekts sind sichere Laserpolierprozesse für die Beschichtungsmaterialien Edelstahl (316 L), Nickelbasislegierungen und Chromoxid (Cr_2O_3).

Darüber hinaus werden im Projekt die technischen Vorrichtungen für die wirtschaftliche und prozesssichere Anwendung des Verfahrens entwickelt. Mit der Möglichkeit die Spritzschichten im Anschluss mittels Laser zu polieren, könnte eine weitere Nachbearbeitungstechnik neben dem aktuell gängigen Schleifen und Drehen geschaffen werden. Diese fortwährende Forschung garantiert einen aktuellen Entwicklungsstand bei rhv-Technik – sowohl im 3D-Druck Sektor als auch in anderen Kundenbereichen. Bei Interesse können Sie sich gerne an uns wenden!





Thermische Beschichtungen

Ob Verschleiß, Temperaturbeständigkeit oder Korrosion
rhv-Beschichtungen schützen Ihre Bauteile und optimieren deren Oberflächen



Rybak + Hofmann
rhv-Technik GmbH + Co. KG

www.rhv-technik.com

THERMISCHES SPRITZEN
MECHANISCHE BEARBEITUNG
SCHICHTANALYSE

ANTIBAKTERIELLE DOTIERUNG VERSCHLEISSFESTER BESCHICHTUNGEN IM THERMISCHEN SPRITZEN

Wolfgang Tillmann¹, Jonas Frederik Zajaczkowski¹ und Ingor Baumann²,
¹RIF Institut für Forschung und Transfer e.V., ²TU Dortmund, Lehrstuhl für Werkstofftechnologie

Ausgehend von besonderen Anforderungen der Lebensmittelindustrie wurde am RIF Institut für Forschung und Transfer e.V. in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Biomaterialien und Polymerwissenschaften der TU Dortmund ein Verfahren entwickelt, um Beschichtungen für Bauteile aus Chrom- oder Aluminiumoxid mit einem lebensmitteltechnisch unbedenklichen, antibakteriellen Zusatzstoff zu dotieren. Besonders hervorzuheben ist, dass die erforderliche hohe Verschleißfestigkeit durch das gewählte Verfahren der antibakteriellen Ausrüstung nicht signifikant beeinträchtigt wird.

Der Impuls für das Forschungsprojekt kam aus der Lebensmittelindustrie. Der Industriepartner Rybak + Hofmann rhv-Technik GmbH, ein Spezialunternehmen für Oberflächentechnik, suchte nach einer Möglichkeit, die Beschichtung von hoch verschleißfesten Bauteilen für die Lebensmittelindustrie antibakteriell auszustatten. Praktischer Hintergrund der Problemstellung ist, dass bei bestimmten Anlagenteilen der Aufwand für Reinigungsprozeduren durch die damit verbundenen hohen Stillstandszeiten der Anlagen sehr hoch ist. Als konkretes Anwendungsbeispiel dienten Gleitringe aus Stahl wie sie zum Beispiel für Rührwerke zum Einsatz kommen. Das Forschungsprojekt wurde im Rahmen des Programms Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert (Förderkennzeichen 16KN083723).

Für das Forschungsteam stellte sich zunächst die Herausforderung, Stoffe zu finden, die in der Lebensmittelindustrie eingesetzt werden dürfen. Am RIF Institut für Forschung und Transfer kam hier die traditionell interdisziplinäre Aufstellung des Instituts zum Tragen. So konnte die Expertise des Lehrstuhls für Biomaterialien und Polymerwissenschaften der TU Dortmund eingebunden werden.

Als antimikrobiell wirksam und lebensmitteltechnisch unbedenkliche Stoffe kamen zunächst Wolframoxid (WO_3) und kolloidales Silber (Ag) in Betracht. Am Lehrstuhl für Biomaterialien und Polymerwissenschaften der TU Dortmund konnte nachgewiesen werden, dass WO_3 zwei typische Standardkeime, Colibakterien und Staphylokokkus Aureus, signifikant reduziert. Aufgrund von umwelttechnischen Bedenken gegenüber kolloidalem Silber sowie aus Kosten-

Abb. 1:
Rasterelektronenmikroskopische Querschnittsaufnahme durch eine $\text{WO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ -Beschichtung auf einem Stahlsubstrat; Foto: RIF/Jonas Zajaczkowski

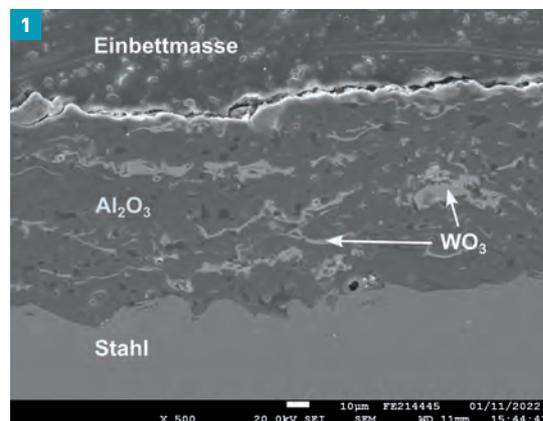


Abb. 2:
Wolframoxid in Pulverform; Foto: RIF/Jonas Zajaczkowski



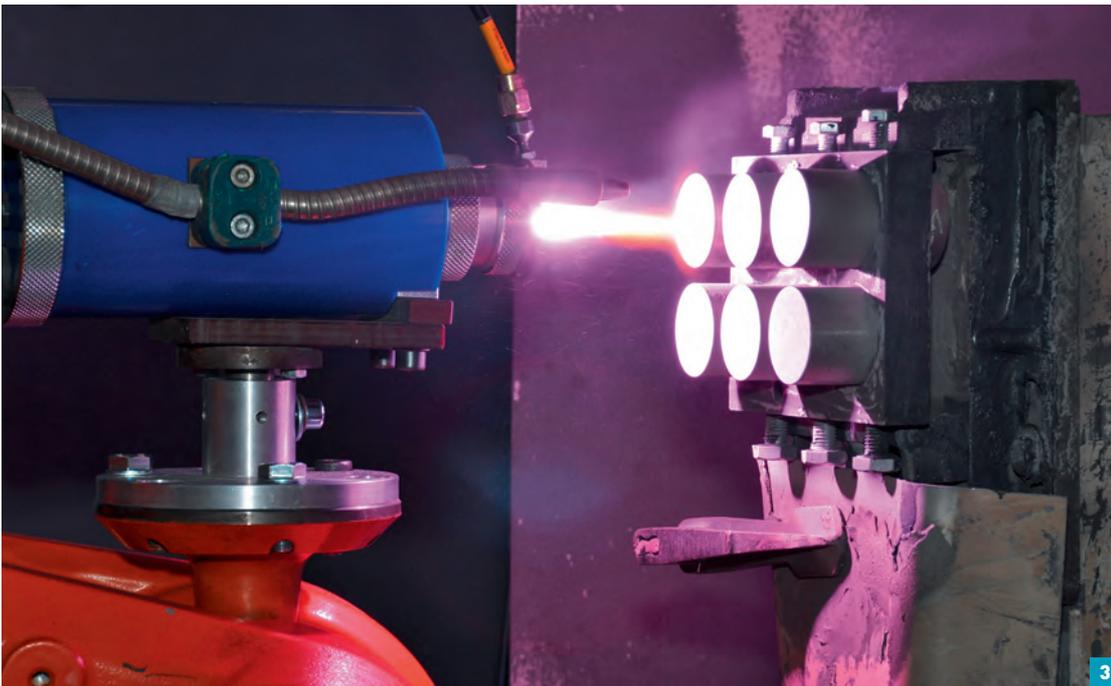


Abb. 3: Atmosphärische Plasmaspritzanlage (APS) zur Aufbringung der Beschichtung; Foto: RIF/Jonas Zajackowski

gründen fokussierten sich die Forschungsarbeiten in Folge auf WO_3 als Additiv.

Zur Aufbringung der Keramikbeschichtungen auf die mechanisch stark belasteten Gleitringe aus Stahl wird herkömmlicherweise das thermische Spritzen genutzt. Als zielführend erwies sich insbesondere der Einsatz des atmosphärischen Plasmaspritzens. Ein Ziel des Projektes war es, ein geeignetes Verfahren für die Aufbringung und Injektion des antibakteriellen Wirkstoffs zu identifizieren. Zur Einbringung des Wolframoxidpulvers in das Verfahren mussten dazu verschiedene Voraussetzungen erfüllt werden.

Eine grundlegende Problematik ergab sich in der Diskrepanz der Schmelzpunkte der keramischen Grundmaterialien sowie des Additivs. Während die Schmelzpunkte der keramischen Grundmaterialien bei 2.072 °C (Al_2O_3) bzw. 2.435 °C (Cr_2O_3) liegen, schmilzt Wolframoxid bereits bei 1.473 °C und verdampft bei Temperaturen ab 1.700 °C . Dies hat zur Folge, dass das Additiv nicht als Pulvermischung mit dem keramischen Grundmaterial zusammen verarbeitet werden kann, da bei zeit- und ortgleicher Injektion beider Pulver in das Plasma entweder das Grundmaterial nicht ausreichend aufgeschmolzen werden kann oder das Additiv bereits größtenteils verdampft. Daher war es notwendig, eine neuartige Injektionsvorrichtung zu entwickeln, mit der das Additiv gezielt in einen Bereich des Plasmas injiziert werden konnte, in dem es ausreichend aufgeschmolzen, aber noch nicht verdampft wird, während die keramischen Grundmaterialien kon-

ventionell in einen heißeren Bereich des Plasmas injiziert wurden.

Weiterhin sollten die Additive für eine maximale antimikrobielle Wirksamkeit in der Schicht möglichst feinverteilt vorliegen, weswegen als Ausgangsmaterial nanoskalige (Primärpartikelgröße $50 - 200\text{ nm}$) Pulver eingesetzt werden müssen. Nanoskalige Pulver lassen sich jedoch mit herkömmlicher Fördertechnik im Bereich des thermischen Spritzens nicht fördern und damit spritztechnisch nicht verarbeiten. Um diesem Problem beizukommen, musste daher zunächst die Fließfähigkeit des Additivs erhöht werden. Dazu wurden dem Wolframoxidpulver eine geringe Menge eines Rheologieadditivs (pyrogene Kieselsäure) beigemischt, welches die Oberfläche des Pulvers bedeckt und als eine Art Festschmierstoff zwischen den Partikeln wirkt.

Mit dem innovativen Pulver- und Förderkonzept konnten so mit einem konventionellen Plasmaspritzsystem (F4-MB) erfolgreich dotierte Keramikbeschichtungen aufgetragen werden. Im Ergebnis erwiesen sich die so beschichteten Funktionsflächen als ebenso verschleißfest und weiterbearbeitbar wie herkömmliche Werkstücke ohne den antimikrobiellen Zusatzstoff. Es konnten sowohl ähnlich hohe Härten (dotierte Schicht: $1012\text{ HV }0.1$; konventionelle Schicht: $1097\text{ HV }0.1$), niedrige Verschleißkoeffizienten (dotierte Schicht: $4,7\text{ ng/Nm}$; konventionelle Schicht: $4,2\text{ ng/Nm}$) und niedrige Porositäten (dotierte Schicht: $3,4\%$; konventionelle Schicht: $2,9\%$) erreicht werden.

Zudem konnten wiederum am Lehrstuhl für Biomaterialien und Polymerwissenschaften die antimikrobiellen Eigenschaften der Proben gegen die beiden Standardkeime im zweimonatigen Langzeittest ohne Leistungsabfall gemessen und bestätigt werden. Dabei konnte gegenüber *Escherichia coli* eine signifikante Keimreduktion von 99% (Reduzie-

rungswert $RL = 2$) im Vergleich zu einer undotierten Beschichtung erreicht werden, gegenüber *Staphylococcus aureus* lag die Keimreduktion sogar bei über 99,9% ($RL = 3,6$).

Aufgrund dieser guten antibakteriellen Eigenschaften, gekoppelt mit dem weiterhin ausgezeichneten mechanischen Eigenschaftsprofil, kann davon ausgegangen werden, dass durch den Einsatz des neuartigen Schichtsystems die Reinigungs- und Wartungszyklen signifikant reduziert werden können. Die Anwendungsnähe der entwickelten Lösung lässt sich auch dadurch belegen, dass der beteiligte Industriepartner sehr rasch nach Projektende mit der Platzierung entsprechender antibakterieller Beschichtungen für die Lebensmittelindustrie am Markt beginnen konnte.

KONTAKT

RIF INSTITUT FÜR FORSCHUNG UND TRANSFER E.V.

Joseph-von-Fraunhofer Straße 20
D-44227 Dortmund.
www.rif-ev.de

HK 2023
Härtereikongress

2 Fachtagungen und 1 Fachmesse unter einem Dach!

24.–26. Oktober 2023
Koelnmesse

Schwerpunktt Themen:

- Additive Fertigung
- Konzepte zur Dekarbonisierung und Nachhaltigkeit in der Stahl- und Wärmebehandlungsindustrie
- Digitalisierung und KI
- Neue Werkstoffe
- Oberflächen- und Fügetechnik
- Nitrieren
- Abschrecken
- Energieeinsparung bei der Wärmebehandlung
- Werkstoffprüfung

www.hk-si.de



NEUE WERKSTOFFE FÜR DEN 3D-DRUCK

Denise Haberger, Bergische Universität Wuppertal, Pressestelle

25 Forschungsgruppen aus ganz Deutschland – unter ihnen auch die Bergische Universität Wuppertal – stellen sich gegenwärtigen Herausforderungen unserer Welt. Ihr gemeinsames Ziel: Die Entwicklung neuer Metall- und Polymerpulverwerkstoffe für den 3D-Druck – und damit die Weiterentwicklung dieses Fertigungsverfahrens.

Mit vereintem Wissen und modernster Technik sowie finanzieller Unterstützung von insgesamt ca. sieben Millionen Euro für drei weitere Jahre durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) geht das Schwerpunktprogramm „Neue Materialien für die laserbasierte additive Fertigung“ (SPP2122) in die zweite Phase. Initiiert wurde diese vom stellvertretenden Programmsprecher Prof. Dr. habil. Bilal Gökce von der Bergischen Universität gemeinsam mit Prof. habil. Dr.-Ing. Stephan Barcikowski von der Universität Duisburg-Essen.

Abb. 1:

Das Schwerpunktprogramm „Neue Materialien für die laserbasierte additive Fertigung“ (SPP2122) geht in die zweite Phase. Ende März fand in Essen die Auftaktveranstaltung dazu statt. Tobias Teckentrup
Quelle: Informationsdienst Wissenschaft e.V. -idw-

Bergische Uni seit Anfang 2022 Mitglied des Programms

Ende März führten beide Professoren durch die Auftaktveranstaltung mit insgesamt rund 60 Teilnehmenden sowie über 20 Fachbeiträgen. Der Lehrstuhl Werkstoffe für die Additive Fertigung um Prof. Gökce ist seit Anfang des Jahres Mitglied im Schwerpunktprogramm und vertritt mit dem Teilprojekt „Nanopartikel-Additivierung von Pulvern für die laserbasierte additive Fertigung von ODS Stählen“ die Materialforschung an der Bergischen Universität. Das Wuppertaler Teilprojekt wird mit ca. 400.000 Euro gefördert. Ziel ist die Entwicklung eines neuen Stahlpulvers auf Eisen-Chrom-Basis für die additive Fertigung, sprich 3D-Druck. Solche Stähle werden beispielsweise in Kesseln und Turbinen von Kraftwerken eingesetzt, die Kohle oder Gas mit erneuerbaren Brennstoffen wie Biomasse verfeuern. Die Erhöhung der Betriebstemperaturen von Kraftwerksturbinengeneratoren ist eine übliche Methode zur Verbesserung des Wirkungsgrads von Dampf- und Gasturbinen. „Der Betrieb einer Anlage bei höheren Temperaturen stellt jedoch extreme Anforderungen an die verwendeten Werkstoffe. Durch winzige keramische Nanopartikel im Material kann die Beständigkeit (Festigkeit, Kriechbeständigkeit) der Bauteile bei hohen Temperaturen verbessert werden“, erklärt Bilal Gökce. Diese gleichmäßig in das Material hinein zu bekommen, sei jedoch nicht einfach.



Verhalten der Nanopartikel verstehen

Der übliche Weg ist teuer und aufwändig, daher untersuchen Prof. Gökce und sein Team Verfahren der additiven Fertigung. Dabei werden unterschiedliche additive Fertigungsverfahren und Simulationen eingesetzt, um das Verhalten der Nanopartikel während der Verarbeitung zu verstehen und die richtigen Parameter zu finden, um möglichst feste Bauteile herzustellen. „Für Herstellung des für den 3D-Druck verwendeten Pulverkomposits, ebenfalls ein besonderes Thema im Projekt, kommen innovative Laserverfahren zum Einsatz“, so Gökce.

Das gemeinsam mit der TU Darmstadt (Prof. Dr. Bai-Xiang Xu) und dem Max-Planck-Institut für Eisenforschung (Dr. Baptiste Gault) angelegte Forschungsprojekt adressiert die additive Fertigung von oxiddispersierten Stählen (ODS) und hat die Entwicklung eines neuen Pulvers auf Eisen-Chrom-Basis für die additive Fertigung zum Ziel.

KONTAKT

BERGISCHE UNI-VERSITÄT WUPPERTAL

Prof. Dr. habil.

Bilal Gökce

Lehrstuhl Werkstoffe für die Additive Fertigung

goekce@uni-wuppertal.de

www.uni-wuppertal.de



From scrap to value –
we reshape more
than the steel industry

At Swiss Steel Group we focus on efficiency, and we constantly push boundaries in our steel production. With the electric arc furnace, upcycled steel and transparency without compromise in every step of the production, we care for a sustainable future. That makes us a powerful and trusted partner for green steel and decarbonization. Let's shape the future together.

[swissgreensteel.com](https://www.swissgreensteel.com)



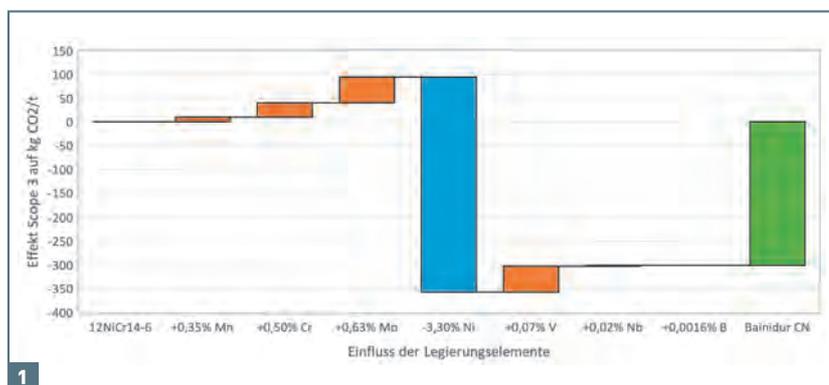
BAINIDUR CN – UNIVERSALSTAHL MIT MINIMIERTEM CO₂-FUSSABDRUCK

F. van Soest, S. Richert und H.-G. Krull, T. Schneiders, Swiss Steel Group

Herausforderungen der Industrie

Die Vermeidung von klimaschädlichen Emissionen einhergehend mit dem extremen Anstieg der Kosten für fossile Energieträger, aber auch die Umweltverträglichkeit der Produkte, sind derzeit die größten Herausforderungen der Industrie. Dabei soll die Fertigung aber robust gegenüber Schwankungen in der chemischen Zusammensetzung, der Wärmebehandlung hinsichtlich Temperatur und Zeit sein. Die Neigung zum Verzug sollte möglichst klein sein um mit möglichst wenig Aufmaß die Kosten für die Hartzerspanung gering zu halten. Leichtbau erfordert eine hohe Festigkeit und Zähigkeit, die Fertigung mit den Zerspanoperationen tendiert aber zu geringen Festigkeiten und einem eher spröden Werkstoffverhalten.

Abb. 1:
Einfluss des veränderten Einsatzes von Legierungselementen auf die CO₂-Emissionen bei den beiden Werkstoffen 12NiCr14-6 und Bainidur CN



1

Neue Fertigungsverfahren wie die additive Fertigung bieten neue Möglichkeiten, viele der bekannten Standardstähle lassen sich aber nicht ohne großen Aufwand oder nur mit hohem Ausschussrisiko auf diese Weise verarbeiten.

Für diese unterschiedlichen Optimierungsziele gibt es heute eine Reihe von Standardwerkstoffen die einen Teilaspekt besonders gut erfüllen. Für ein möglichst breites Anwendungsfeld, einer kurzen und robusten Prozesskette und der Möglichkeit ihn additiv zu verarbeiten wurde der Stahl Bainidur CN (1.7980) entwickelt [1]. Einzelne Anwendungsfelder werden im Folgenden vorgestellt.

KONTAKT

DEUTSCHE EDEL-
STAHLWERKE
SPECIALTY STEEL
GMBH & CO. KG

Dr. Hans-Günter Krull
Oberschlesienstr. 16
D-47807 Krefeld
hans-guenter.krull@
swisssteelgroup.com
www.swisssteel-group.com

Großgetriebe – Reduzieren des CO₂-Fußabdrucks durch Verzicht auf Nickel, Substitution von zwei Stahlsorten im Lager durch eine

Die Einhaltung der Klimaziele, sowie die Verknappung und die steigenden Preise fossiler Brennstoffe führen zu einer vermehrten Nutzung der Windenergie für die Stromerzeugung. Durch die weiterhin steigende Nennleistung neuer Anlagen und den Bau von Offshore-Windparks verändert sich auch das Anforderungsprofil wichtiger Komponenten wie z.B. der Großwälzlager des Rotorblatts. Üblicherweise werden nickelhaltige Einsatzstähle wie z.B. „12NiCr14-6“ (SAE 3311) oder 18CrNiMo7-6 (1.6587) verwendet. Die finanziellen und ökologischen Kosten für Rohmaterial, hauptsächlich zurückzuführen auf den Ni-Gehalt von ca. 3,5 Gew.-% und die Wärmebehandlung, sind sehr hoch. Ein großes Optimierungspotenzial bietet Bainidur CN in Kombination mit einer der Anwendung angepasster Wärmebehandlung.

Das veränderte Legierungssystem führt alleine bei einer Scope 3 Betrachtung (Stahlwerk / Legierungselemente auf Einsatzbasis unlegierter Schrott) zu einer Reduzierung der CO₂-Emission um ca. 300 kg/t Stahl (Abb. 1). Der hohe Nickelgehalt von 12NiCr14-6 gegenüber Bainidur CN steigert die Emission um 450 kg CO₂/t Stahl. Dem gegenüber fällt der höhere Bedarf an Elementen zum Einstellen der Eigenschaften von Bainidur CN mit nur einer CO₂-Emissionserhöhung von 150 kg CO₂/t Stahl ins Gewicht. Der hoch nickelhaltige Werkstoff 12NiCr14-6 eignet sich auf Grund seines Legierungsaufbaus nur bedingt zum Carbonitieren. Bei der Entwicklung des neuen Werkstoffs Bainidur CN wurde das Legierungssystem so gewählt, dass ausreichend Nitrid- und Carbonitridbildner vorhanden sind. Durch die Umstellung vom reinen Aufkohlen zum Carbonitieren ist eine größere Lebensdauer der Zahnräder zu erwarten.

Additive Fertigung – Ergänzung der Massenfertigung durch Prototypen und Ersatzteile aus artgleichem Pulver

Für die additive Fertigung haben sich heute im Wesentlichen zwei Werkstoffe durchgesetzt, der austenitische korrosionsbeständige Stahl 1.4404

(316L) und der hochlegierte Maragingstahl 1.2709. Beide Stähle lassen sich sehr gut additiv verarbeiten, sind aber im allgemeinen Maschinenbau eher ungebräuchlich. Der Vergütungsstahl 42CrMo4 ist zwar ein verbreiteter Konstruktionswerkstoff, lässt sich aber aufgrund seiner hohen Härte nur mit sehr hohen Temperaturen der Substratplatte additiv verarbeiten. Auch große Bauteile lassen sich aus dem Werkstoff 1.7980 aufgrund des geringeren Kohlenstoffgehalts und der damit verbundenen geringen Härte ohne Vorwärmung über die additive Fertigung darstellen [2]. Als Beispiel ist der in dem öffentlich geförderten Projekt TaCoMA [3] in Abb. 2 als Demonstrator gefertigte Werkzeughalter dargestellt.



2

Übliche Stähle für Werkzeughalter sind neben dem Vergütungsstahl 42CrMo4 auch Nitrierstähle und Werkzeugstähle wie 1.2343 oder 1.2344.

Da die Stahlsorte als Stabstahl und als Pulver gleichermaßen verfügbar ist, bietet sich eine hybride Fertigung aus z.B. Stabstahl für die eher einfachen Geometrien und additive Fertigung der Teilkomponenten mit besonderen Funktionen an.

In der CO₂-Bilanz schneidert der bainitische Werkstoff bei Betrachtung des Scope 3 aufgrund seiner deutlich geringeren Legierungsbestandteile insbesondere der Gehalte an Nickel, Molybdän, Kobalt und Titan deutlich besser ab, Abb. 3. Gegenüber dem Standardwerkstoff 1.2709 vermindert sich der CO₂-Fußabdruck für den Scope 3 um 3,5 t / t Stahl.

Zusammenfassung

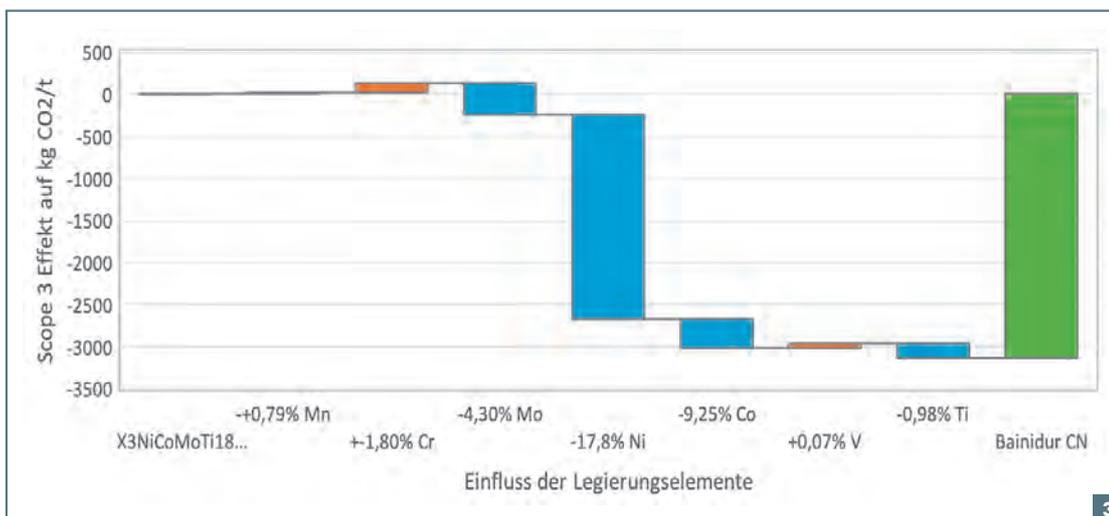
Der Fokus der Anforderungen an Stähle hat sich von reiner Effizienz und Kosten in Richtung Nachhaltigkeit verschoben. An Beispielen wurde gezeigt

wie diesen neuen Anforderungen durch Neuentwicklungen begegnet wird. Unter Betrachtung der Gesamtfertigungskette können Kostenziele und Nachhaltigkeitsanforderungen in Einklang gebracht werden. Das robuste Verhalten von Bainidur CN gegenüber Variationen in der Abkühlgeschwindigkeit ist ein weiteres Merkmal das über geringere Ausfallwahrscheinlichkeiten sich positive auf Kosten, Durchlaufzeiten, Bestände und die CO₂-Bilanz aus.

Literatur

1. H.-G. Krull, F. van Soest, T. Schneiders, T. Sourmail und K. Mamminska, „Neue bainitische Stähle,“ stahleisen.de, pp. 37-45, Dezember 2021.
2. D. Bartels, A. von Lattre-Hertel, T. Novotny, A. Mohr, H. Hill, C. Merklein und M. Schmidt, „Directed Energy Deposition of Low-Alloyed Steels: An Insight on Microstructural and Mechanical Properties,“ Steel Research International, pp. 1 - 10, 2023.
3. T. Kellinger und J. Saewe, „Additiv gefertigte Zerspanwerkzeuge mit zielgerichteter KSS Zufuhr,“ NC Fertigung, 09 2022.

Abb. 2: Werkzeughalter aus 1.7980 mit konturnahen Kühlkanälen (mit freundlicher Genehmigung des WZL der RWTH Aachen und des Fraunhofer ILT Aachen)



3

Abb. 3: CO₂-Bilanz von 1.2709 [X3NiCoMoTi18-9-5] verglichen mit 1.7980 auf Basis Scope 3

SCHMIERSTOFFREDUKTION BEIM TIEFZIEHEN

Andreas Kormann, Christian Orgeldinger, Armin Seynstahl, Tobias Rosnitschek, Bettina Alber-Laukant und Stephan Tremmel, Universität Bayreuth, Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD

Das Tiefziehen ist durch seine zahlreichen Vorteile ein breit verwendetes Verfahren in der Metallverarbeitung. In diesem Umformverfahren werden flache Blech- oder Bandmetalle in eine gewünschte dreidimensionale Form gezogen. Dabei spielt die Verwendung von ölbasierten Schmierstoffen bislang eine zentrale Rolle, um ein qualitativ hochwertiges Tiefziehergebnis zu erreichen. Die speziellen Tiefziehölschmierstoffe vermindern Reibung im Prozess und Verschleiß an den Werkzeugoberflächen. Gleichzeitig müssen auch die negativen Einflüsse auf Umwelt und Gesundheit sowie der Kostenaspekt berücksichtigt werden. Im Kontext einer nachhaltigen Fertigung, ist es daher das Ziel, alternative Lösungen zu finden, um die Verwendung von ölbasierten Schmierstoffen zu reduzieren oder komplett darauf zu verzichten. Eine vielversprechende Möglichkeit sind Werkzeugbeschichtungen, mit denen Reibung und Verschleiß minimiert werden und so eine Schmierstoffreduktion ermöglichen.

Motivation

Konventionelle Schmierstoffe (Öle), die bei Tiefziehprozessen häufig zum Einsatz kommen, haben einige Nachteile. Sie können gesundheitsgefährdend, umweltbelastend und kostspielig sein. Zusätzlich müssen die Bleche vor dem Tiefziehen damit geschmiert und nach dem Tiefziehen wieder gereinigt werden, was zusätzliche Kosten und Arbeitszeit verursacht. Notwendig sind die Schmierstoffe, da sie Reibung und Verschleiß an den Werkzeugen vermindern und somit deren Standzeit erhöhen, wobei die Schmierstoffe gleichzeitig die notwendigen Um-

formkräfte reduzieren. Eine mögliche Lösung zur Reduktion von Schmierstoffen im Tiefziehprozess ist eine Beschichtung der verwendeten Werkzeuge, um Schmierstoff zu reduzieren und im Idealfall zukünftig auf ölbasierte Schmierstoffe ganz verzichten zu können. Das Einsparpotential in der Prozesskette des Tiefziehens bezieht sich auf die Schritte Beölen und Reinigen der Halbzeuge, welche der aktuellen Prozesskette in **Abbildung 1** gegenübergestellt ist.

Abb. 1:
Schematische Darstellung der Schmierstoffreduzierung beim Tiefziehen.
Quelle: Uni Bayreuth



Das Ziel ist die perfekte Schicht

Als besonders vielversprechend hat sich in bisherigen Untersuchungen der Einsatz von amorphen Kohlenstoffschichten (a-C:H) und tetraedrischen amorphen wasserstofffreien Kohlenstoffschichten (ta-C) herausgestellt. Diese weisen sowohl eine sehr hohe Verschleißfestigkeit, als auch eine geringere Reibung in Werkzeuganwendungen auf. Die Wechselwirkungen zwischen Substratwerkstoff des Werkzeugs, dem verwendeten Schichtsystem und dem Werkstoff des Blechhalbzeugs sind hierbei entscheidend für den positiven Nutzen der Schicht. Im Rahmen des industrienahen Forschungsprojekts „Seriennahe Auslegung modifizierter Werkzeugoberflächen für das schmierstoffreduzierte Tiefziehen“, welches die Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e.V. (EFB) fördert, steht daher zunächst die Auswahl und Verbesserung des Schichtsystems im Mittelpunkt.

Ausgehend vom Substratwerkstoff (Werkzeugstahl D2, 1.2379) und den verwendeten Blechen (Aluminiumlegierungen AA5182 und AA6014) werden unterschiedliche Schichtarten untersucht.

Die Applizierung der a-C:H Schichten auf den Stahlsubstraten erfolgt in einem kombinierten Physical Vapor Deposition (PVD) und Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD) Prozess. Hingegen werden die ta-C Schichten mittels Lichtbogenverdampfungsprozessen aufgebracht. Die grundlegende Schichtarchitektur der a-C:H-Schichten bleibt für jede zu untersuchende Schicht gleich: Chrom (Cr)-Haftschicht, Wolframcarbid (WC)-Zwischenschicht, a-C:H Funktionsschicht (siehe Abb. 2). Dabei entspricht die Funktionsschicht der tribologisch wirksamen Schicht und ist für die Reibungsminimierung sowie die Verschleißbeständigkeit verantwortlich. Die verwendeten Schichtdicken der Schichtsysteme sind sehr dünn und betragen nur wenige Mikrometer.

Um den Einfluss des Gasverhältnisses (Argon/Acetylen), der Bias-Spannung und der Substratrotationsgeschwindigkeit auf die Schichthaftung und die Verschleißbeständigkeit zu charakterisieren, erfolgt in den nächsten Schritten mithilfe eines ersten Box-Behnken-Versuchsplans eine Vorauswahl an potenziellen Schichten. Durch den Einsatz von Ritz-Tests und Tribometerversuchen lässt sich anschließend insbesondere die Schichthaftung beurteilen. Diese dient als Bewertungskriterium der Schichtperformance und als erste Vorauswahl von geeigneten Schichtsystemen. Nachgelagerte Streifenziehversuche ermöglichen es, zusätzliche Reibungskennwerte zu generieren, indem die Blechhalbzeuge an den beschichteten Reibbacken entlang reiben. Die Auswertung, der im Projekt erzielten Ergebnisse, erfolgt im Hinblick auf industriell relevanten



Abb. 2: Schematische Darstellung der grundlegenden Schichtarchitektur der amorphen Kohlenstoffschichten (a-C:H). Quelle: Uni Bayreuth

te Bauteilgeometrien und Blechhalbzeuge. Die Verwendung unterschiedlicher Werkzeuggeometrien beeinflusst die Qualität der aufgetragenen Schichten stark, weshalb wir in Versuchsreihen signifikante geometrische Einflussfaktoren herausarbeiten und aufbauend darauf eine robuste Prozessführung etablieren. Anschließend Prozesssimulationen ergänzen die Analyse des Tiefziehprozesses, um auf das vorliegende Beanspruchungskollektiv zu schließen.

Übertragung auf die Praxis

Auch wenn eine Schichtcharakterisierung unter Laborbedingungen bereits erste Rückschlüsse auf mögliche Potentiale zeigt, ist eine Überprüfung des Einsatzverhaltens unter anwendungsnahen Bedingungen notwendig, um einen reibungslosen Transfer in die Praxis zu gewährleisten. Dazu beschichten wir ausgewählte Werkzeuge mit den vielversprechendsten Schichtsystemen der Vorversuche und untersuchen diese auf einer Schnellläuferpresse anschließend hinsichtlich ihrer Praxistauglichkeit, indem unterschiedliche Blechwerkstoffe in typische Geometrien, wie z.B. der Kreuznapfgeometrie, gefertigt werden. In **Abbildung 3** ist ein CAD-Modell der Schnellläuferpresse abgebildet sowie der Versuchsplan der Standzeitversuche. Durch Verschleißmessungen kann dann abschließend geklärt werden, welches Schichtsystem für den gewählten Anwendungsfall am besten geeignet ist.

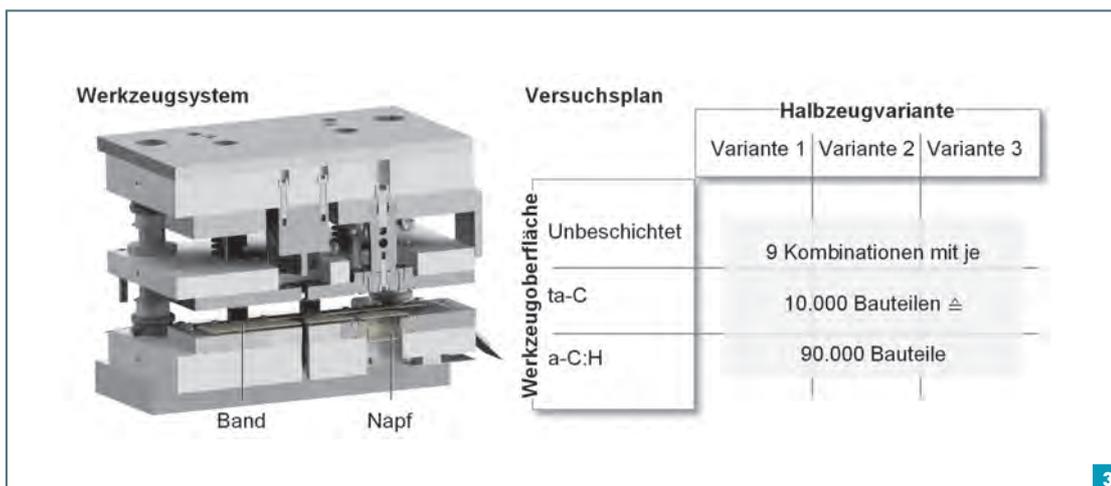


Abb. 3: CAD-Modell der Schnellläuferpresse, die für die Standzeitversuche der beschichteten Werkzeuge genutzt wird sowie der korrespondierende Versuchsplan. Quelle: Uni Bayreuth

Vorteile des Ansatzes

- **Nutzen:** Höhere Produktqualität, längere Werkzeuglebensdauer, geringere Kosten und umweltfreundliche Produktion
- **Funktionsweise:** Erklärung der Funktionsweise von Werkzeugbeschichtungen, wie z.B.

Schmierwirkung durch spezielle Oberflächenstrukturen, geringere Reibung und Verschleiß durch harte Schichtsysteme

- **Anwendungsbeispiele:** Vorstellung konkreter Anwendungsbeispiele von Werkzeugbeschichtungen beim Tiefziehen von Blechhalbzeugen, wie z.B. in der Automobilindustrie oder der Elektronikfertigung

KONTAKT**UNIVERSITÄT BAYREUTH**

Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD
Universitätsstraße 30
D-95447 Bayreuth
Tel.: +49 (0)921 55-7537
konstruktionslehre.cad@uni-bayreuth.de
www.konstruktionslehre.uni-bayreuth.de

Danksagung

Dieser Beitrag entstand im Kontext des Forschungsprojekts „Seriennahe Auslegung modifizierter Werkzeugoberflächen für das schmierstoffreduzierte Tiefziehen“, welches von der Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e.V. gefördert wird.



16. Blechexpo

Internationale Fachmesse für Blechbearbeitung



9. Schweisstec



07.-10. November 2023



Stuttgart

blechbearbeitung

off the line

best

Das Messedoppel zeigt die moderne, zukunftsfähige Blechbearbeitung, bildet komplette Prozessabläufe ab und zeigt mit den Ausstellern in **9 Messehallen**, die in **5 Themen** aufgeteilt sind, eindrucksvoll die Leistungsstärke der Branche. Es genießt allerhöchstes Interesse und wird von einem hochkarätigen Programm eingerahmt.



Blech-, Rohr- und Profilmontage



Stanntechnologien



Trenn-, Füge- und Verbindungstechnologien



Pressen- und Umformtechnologien



Stahl-, Metallservice und Oberflächentechnik



AUSSTELLER-FORUM



Blechexpo
**STEEL
CONVENT 2023**

Herausforderungen auf
den Stahlmärkten



Stahl-Kommunikation

future
STEEL
CONGRESS BY MARKETSTEEL
Green Steel, die Industrie
von morgen gestalten



Powered by Blechexpo

www.blechexpo-messe.de www.schweisstec-messe.de

Veranstalter: P. E. SCHALL GmbH & Co. KG T +49(0)70259206-0 blechexpo@schall-messen.de schweisstec@schall-messen.de

AUF GRATFREIE UND SAUBERE OBERFLÄCHEN KOMMT ES AN

Doris Schulz, fairXperts GmbH & Co. KG

In nahezu allen Branchen tragen bauteilspezifisch bearbeitete Oberflächen entscheidend zur Produktqualität bei. Entsprechend werden sowohl an die Gratfreiheit und Sauberkeit als auch die Formgebung und das Oberflächenfinish zunehmend höhere Anforderungen gestellt. Innovative und weiterentwickelte Lösungen sorgen dafür, dass diese Ansprüche prozesssicher, reproduzierbar und wirtschaftlich erfüllt werden können.

Es zieht sich wie ein roter Faden durch nahezu alle Industriebereiche: Transformationsprozesse, veränderte Fertigungstechnologien, optimierte und neue Werkstoffe, der Trend zur Automatisierung und Digitalisierung von Produktionsprozessen, strengere Klimaschutzziele sowie regulatorische Vorgaben stellen Unternehmen vor neue bzw. anders geartete Aufgabenstellungen. Sie erfordern einerseits eine Weiterentwicklung bzw. Anpassung bestehender Kernkompetenzen und Prozesse, andererseits eine technologiebasierte Diversifikation, beispielsweise in Segmente außerhalb des bisherigen Marktes. So unterschiedlich die Anforderungen dabei auch sein mögen, Fertigungsschritte wie das Entgraten, Reinigen und die Herstellung von Präzisionsoberflächen nehmen eine qualitätsentscheidende Rolle ein.

Mobilität: angepasste Fertigungsprozesse für neue Antriebe

Die Elektromobilität hat deutlich Fahrt aufgenommen, entsprechend bauen Automobilhersteller und Zulieferer ihre Kapazitäten aus. Herausforderungen ergeben sich dabei sowohl bei der Fertigung

von Komponenten für Elektromotoren als auch für Batteriemodule. So werden beispielsweise Antriebswellen, Gehäusekomponenten und Verzahnungsteile mit komplexen Geometrien konstruiert. Zum Teil weisen diese Werkstücke auch Bohrungen mit Verschneidungen auf. Gleichzeitig erfolgt die Konstruktion häufig mit minimal möglichen Materialstärken, um Masse einzusparen und dadurch Reichweite zu gewinnen. Dies macht für die Entgratung und das Oberflächenfinish optimal angepasste Lösungen erforderlich, mit denen sich sowohl die hohen Anforderungen an Gratfreiheit und Präzision als auch Durchsatz und Wirtschaftlichkeit erfüllen lassen. Je nach Bauteil und Aufgabenstellung bieten die Hersteller von Lösungen für das Entgraten und die präzise Oberflächenbearbeitung neue sowie weiterentwickelte Anlagen und Prozesse. Dazu zählen beispielsweise Entwicklungen aus dem Bereich des Gleitschleifens sowie der Laser- und ECM-Technologie. Sowohl die Laser- als auch die elektrochemische Metallbearbeitung (ECM) beziehungsweise die elektrochemische Präzisionsbearbeitung (PECM) ermöglichen darüber hinaus eine gratfreie Formgebung, beispielsweise die Herstellung von Bohrungen.

Abb. 1: Durch neue Entwicklungen für das Entgraten und die Oberflächenbearbeitung, beispielsweise in der Gleitschlifftechnik, lassen sich neue und veränderte Anforderungen an Präzision und Oberflächeneigenschaften prozesssicher und wirtschaftlich erfüllen. Foto: Rösler Oberflächen-technik



In der Verbrennertechnologie stehen neue Entwicklungen für Pkw zwar nicht mehr auf der Prioritätenlisten der Automobilhersteller. An weiteren Verbesserungen bestehender Aggregate und Einspritzsysteme wird jedoch gearbeitet. Zielsetzung ist, Verbrauch und Emissionen zu verringern und die Leistung zu optimieren. Zu den Aufgabenstellungen, die dafür zu erfüllen sind, zählt beispielsweise bei gleicher oder geringerer Bauteilgröße und komplexeren Werkstückgeometrien die Dauerbruchfestigkeit durch glatte Kanten, Radien und Übergänge sowie eine verbesserte Oberfläche zu erhöhen. Ebenso beinhaltet es, die Schmierung bei Komponenten wie dem Pleuel durch zusätzliche Bohrungen zu verbes-

sern, die Strukturierung innerhalb des Einspritzventils zu optimieren sowie durch eine angepasste Formgebung der Düsenbohrungen die Kraftstoffverbrennung effektiver zu machen. Dabei sorgen Lösungen aus der Entgrattechnik, Feinst- und gratfreien Bearbeitung ebenfalls für entsprechende Ergebnisse.

Medizintechnik: Oberflächen rücken stärker in den Fokus

Einerseits ist es die seit 26. Mai 2021 gültige europäische Medical Device Regulation – Medizinprodukteverordnung – (MDR), die zu einer genaueren Betrachtung der Oberflächenqualität von Medizinprodukten führt. Andererseits werden medizintechnische Produkte zunehmend komplexer und smarter.

Neben Zytotoxizität und Bioburden thematisiert die neue MDR bei Sterilprodukten erstmals auch Rückstände aus der Herstellung wie Partikel, die aus dem Produkt freigesetzt werden können. Dies betrifft auch die Entgratung der Komponenten. Denn es soll verhindert werden, dass beispielsweise ein Schleifgrat einer Kanüle oder einem anderen Instrument, ein Fertigungsrest an einer Pedikelschraube oder einem Implantat in den Körper eines Patienten gelangt und ihn schädigt. Bei diesen Aufgabenstellungen ermöglichen neue und optimierte Lösungen wie beispielsweise das Ultraschallentgraten für eine effiziente, prozesssichere und entsprechend den regulatorischen Vorgaben validierbare Durchführung der Entgratung und Reinigung.

Die gezielte Auslegung der Material- und Oberflächeneigenschaften kann dazu beitragen, die Funktion des Produkts zu verbessern. Dazu zählen unter anderem funktionalisierte Oberflächen, die beispielsweise die Osseointegration von Implantaten verbessern und beschleunigen oder das Wachstum von Keimen verhindern. Dies lässt sich unter anderem durch miniaturisierte Strukturen im Mikro- und Nanometerbereich erreichen, die beispielsweise durch Laserstrukturierung oder Ultrapräzisionszerspanung auf die Oberfläche aufgebracht werden.

Sauber Entgraten und Reinigen: in allen Industriebereichen ein Muss

Es sind aber nicht nur Anwendungen in der Automobil- und Zulieferindustrie sowie der Medizintechnik, die es erfordern, bestehende Prozesse auf den Prüfstand zu stellen und anzupassen. Im Maschinen- und Anlagenbau, der Mess-, Feinwerk- und Sensortechnik, dem Werkzeug- und Formenbau, der Energie- und Umwelttechnik sowie bei der Herstellung von Produktionsequipment für die Halblei-

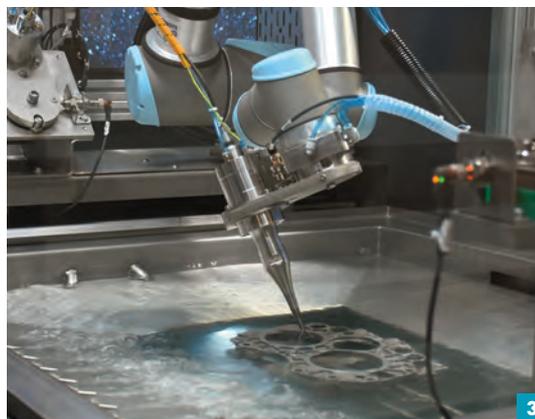


2

Abb. 2:

Die Lasertechnologie eröffnet sowohl beim Entgraten als auch der Oberflächenbearbeitung, z.B. Mikrostrukturierung, neue Perspektiven und Anwendungsfelder. Foto: Stoba Sondermaschinen

terindustrie haben sich die Anforderungen an die Oberflächenqualität ebenfalls verändert und erhöht. Unabhängig davon, ob die Qualität nachfolgender Prozesse wie Beschichten, Verkleben, Laserschweißen und Montieren oder die einwandfreie Produktfunktion sicherzustellen ist, strenge Spezifikationen an die technische Sauberkeit von Bauteilen sind heute in praktisch allen Industriebereichen selbstverständlich. Um diese Vorgaben zu erreichen, ist eine zuverlässige Entgratung, bei der je nach geforderter Sauberkeit auch Feinstgrate im Submikrometer-Bereich zu entfernen sind, Grundvoraussetzung. Die Industrie bietet dafür unter anderem innovative Anlagenkonzepte, die eine zuverlässige Entgratung und Reinigung in einem Prozess ermöglichen. Ein weiterer Aspekt, der in immer mehr Branchen an Bedeutung gewinnt, sind funktionalisierte Oberflächen. Sei es eine bestimmte Rauigkeit oder definierte Strukturierung, Basis ist auch hier eine entsprechende Bearbeitung in der bestgeeignetsten Technologie. Bei deren Auswahl ist ein konstantes und systematisches Markt- und Technologiemonitoring ein entscheidender Faktor.



3

Abb. 3:

Mit dem Ultraschallentgraten können auch innenliegende und verdeckte Grate zuverlässig entfernt werden. Gleichzeitig mit der Entgratung wird das Werkstück gereinigt. Foto: Doris Schulz

Abb. 4:

Die Automatisierung von Entgrat- und Oberflächenbearbeitungsprozessen bietet viel Potenzial zur Verbesserung von Qualität, Präzision, Reproduzierbarkeit und Wirtschaftlichkeit. Vorausgesetzt, das Automatisierungskonzept ist optimal ausgelegt und nachhaltig. Foto: Supfina



Automatisierung: angepasst an die Anforderungen

Die Automatisierung von Entgrat- und Oberflächenbearbeitungsprozessen zählt zu den wesentlichen Faktoren, um hohen Anforderungen an Präzision, Reproduzierbarkeit, Durchsatz und Effizienz gerecht zu werden. Zu den wesentlichen Aspekten, die dabei zu berücksichtigen sind, zählt die Einfachheit und Nachhaltigkeit des Automatisierungskonzept. Dies beinhaltet beispielsweise die Anzahl der Produkte, für die es eingesetzt werden kann, die Möglichkeit schnell neue Produkte zu integrieren sowie den Aufwand für das interne Instandhaltungspersonal. Idealerweise basiert die Automatisierung daher auf einem Lastenheft, das den unternehmensspezifischen Workflow ebenso berücksichtigt wie die Lebenszyklen der gefertigten Produkte.

Quellen für Informationsbeschaffung, Wissenstransfer und Erfahrungsaustausch

DeburringEXPO – Leitmesse für Entgrat- technologien und Präzisionsoberflächen

Die DeburringEXPO ist europaweit die einzige Fachmesse, die sich ausschließlich den Themen Entgraten, Kantenverrunden und Herstellung von Präzisionsoberflächen widmet. Sie bietet einen kompletten Überblick über den aktuellen Stand der Technik, innovative Entwicklungen, Trends, Prozesse und Verfahren, Qualitätssicherung und Dienstleistungen zu diesen Fertigungsschritten. Mit diesem klaren Fokus ist Leitmesse für Entgrattech-

nologien und Präzisionsoberflächen für Entscheider aus dem In- und Ausland die Informations- und Beschaffungsplattform erster Wahl. Ergänzt wird das Ausstellungsprogramm durch das integrierte, dreitägige Fachforum mit simultan (Deutsch <> Englisch) übersetzten Vorträgen. Die fünfte Auflage der DeburringEXPO findet vom 10. bis 12. Oktober 2023 auf dem Messegelände Karlsruhe statt. Weitere Informationen unter www.deburring-expo.de

Broschüre Basiswissen Entgrattechnologie

Als einzigartige Informations- und Orientierungsquelle erweist sich hier die Broschüre „Basiswissen Entgrattechnologie“, die von der fairXperts GmbH & Co. KG, Veranstalter der DeburringEXPO, herausgegeben wird. Die gemeinsam mit Experten aus Industrie und Forschung erarbeiteten Inhalte der Broschüre ermöglichen Unternehmen einen praxisorientierten Überblick über aktuelle Technologien für das Entgraten und die Bearbeitung von Oberflächen sowie deren Einsatzmöglichkeiten bei unterschiedlichen Gratsituationen und Materialien. Dafür werden nicht nur verschiedene Verfahren wie beispielsweise mechanisches Entgraten mit Werkzeugen, elektrochemische Metallbearbeitung (ECM), Strahlen mit abrasiven und nicht abrasiven Medien, Strömungsschleifen (AFM) sowie das Laser- und Ultraschallentgraten verständlich vorgestellt. Es werden auch Einflussfaktoren für die Auswahl des Entgratverfahrens, Stärken und Grenzen der Technologien, Nebeneffekte, die bei Entgratprozessen auftreten können sowie Möglichkeiten zur Qualitätssicherung und einiges mehr erörtert. Mit diesen Informationen sowie einer übersichtlichen Matrix unterstützt die Publi-

kation Unternehmen dabei, schnell und einfach für ihre individuelle Aufgabenstellung geeignete Methode zu finden. Die Broschüre „Basiswissen Entgrattechnologie“ steht auf der Website der DeburringEXPO (www.deburring-expo.de) kostenfrei zum Download zur Verfügung.

Abb. 5:

Die Broschüre Basiswissen Entgrattechnologie kann auf der Website der DeburringEXPO (www.deburring-expo.de) kostenfrei heruntergeladen werden. Foto: fairXperts



KONTAKT

FAIRXPERTS GMBH & CO. KG
Hartmut Herdin (Geschäftsführer)
Hauptstraße 7
D-72639 Neuffen
Tel.: +49 (0)7025 8434-0
info@fairxperts.de
www.fairxperts.de

supfina

supfina

Oberflächen vom Feinsten
Ihre Aufgabe – Unsere Lösung

Weltweit führend in den Technologien der Oberflächenbearbeitung bieten wir Ihnen abgestimmte Maschinen und Lösungen für Ihre individuellen Anforderungen, vom kleinen Anbaugerät bis zum kompletten Bearbeitungszentrum mit Automation:

- Superfinish
- Planfinish
- Feinschleifen
- Doppelpfanschleifen
- Anbaugeräte
- Automation

EMO
HANNOVER

18. bis 23. September 2023
Hannover / Deutschland
Halle 11, Stand C19

Engineering with High Precision

www.supfina.com

IM FOKUS



Gießereitechnik
AKADEMISCHE INTERESSENSGEMEINSCHAFT GIESSEREITECHNIK

Ingenieurwissenschaften

Anfragen zur kostenfreien Übersendung von Belegexemplaren oder zwecks redaktioneller Mitarbeit richten Sie bitte an

Institut für Wissenschaftliche Veröffentlichungen (IWV)
Finkenstraße 10 · 68623 Lampertheim · Telefon 06206 939-0
info@alphapublic.de · www.institut-wv.de



WELTLEITMESSE
FÜGEN ▴ TRENNEN ▴ BESCHICHTEN

SCHWEISSEN
& SCHNEIDEN



LET'S JOIN
THE WORLD!

11. – 15. September 2023

BESUCHEN
SIE UNS!

www.schweissen-schneiden.com

D V S VERBAND

MESSE
ESSEN

MORE THAN JUST TUNGSTEN

Als international führender Entwicklung und Lieferant von Wolfram Produkten verbindet die Wolfram Industrie Refraktärmetalle mit praxisnahem Service für Industrieunternehmen. Die Standorte Nußdorf bei Traunstein, Dachau und Winterthur vereinen Forschung, Produktion und Service unter einer Marke. Unsere Kunden schätzen die Qualität und Vielfalt der Produkte sowie die vertrauensvolle Zusammenarbeit sehr. Alles aus einer Hand – hergestellt in Europa.

Mit mehr als 110 Jahren Erfahrung in der Metallherstellung sind wir ein sicherer Arbeitgeber. In dem Bewusstsein, dass wir die Zufriedenheit unserer Kunden nur mit der hochwertigen Arbeit aller Teams erreichen, schaffen wir eine Arbeitsumgebung, in der Innovation und Stabilität gleichermaßen möglich sind.

Durch flexible Strukturen gehen wir auf die Potenziale und Wünsche unserer Mitarbeitenden ein. Bereichswechsel und Karrieremöglichkeiten werden mit gezielten Entwicklungsmaßnahmen unterstützt und an sich verändernde Lebenssituationen angepasst.



KONTAKT

GESELLSCHAFT FÜR WOLFRAM INDUSTRIE MBH

Permanederstr. 34
D-83278 Traunstein
Tel.: +49 (0)8131 703-0
info@wolfram-industrie.de
www.wolfram-industrie.de



Ihnen gefällt, was Sie lesen? Senden Sie uns Ihre Initiativbewerbung über die Karriereseite wolfram-industrie.de/karriere/



Wolfram Industrie ist ein international agierendes Industrieunternehmen, das seit 112 Jahren die Verbindung herausfordernder Marktansprüche lebt.

Damit Sie Ihr fachliches Potenzial einsetzen und weiterentwickeln können, kümmern wir uns um die Marktführerschaft für Wolfram-Produkte, eine lebendige Unternehmenskultur und um berufliche Positionen, die zu Menschen wie Ihnen passen. Nicht andersherum.

Gemeinsam machen wir die Dinge anders.

VERWIRKLICHUNG IM JOB BEI WOLFRAM INDUSTRIE

Entfalten Sie Ihr Potenzial beim deutschen Marktführer für Wolfram-Produkte.

PULVERMETALLURGISCHE TECHNOLOGIEN UND WERKSTOFFE FÜR TECHNISCHE INNOVATIONEN AM FRAUNHOFER IFAM IN DRESDEN

Thomas Weißgärber, Felix Heubner, Marie Franke- Jurisch, Thomas Studnitzky, Georg Pöhle, Olaf Andersen, Johannes Trapp und Gunnar Walther, Fraunhofer IFAM Dresden

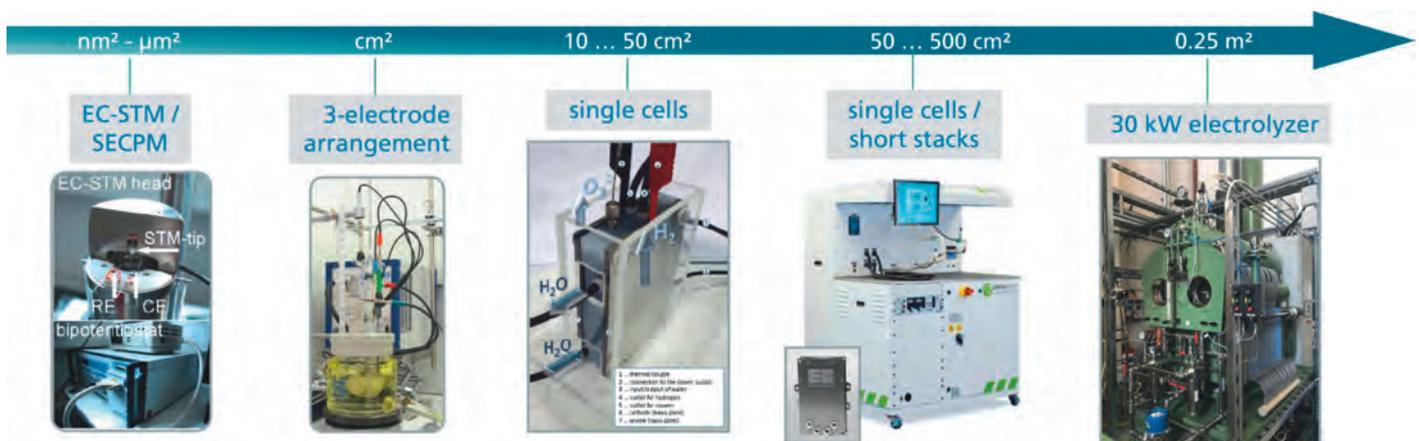
Der Institutsteil Dresden des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM forscht anwendungsnah auf den Gebieten der Pulvermetallurgie, der Additiven Fertigung und der Wasserstofftechnologie. In der Kette Herstellung – Gefüge – Eigenschaften werden ausgehend von werkstoffwissenschaftlichen Grundlagen pulvermetallurgische Technologien und Werkstoffe für technische Innovationen in den Branchen Energietechnik, Mobilität und Medizintechnik entwickelt.

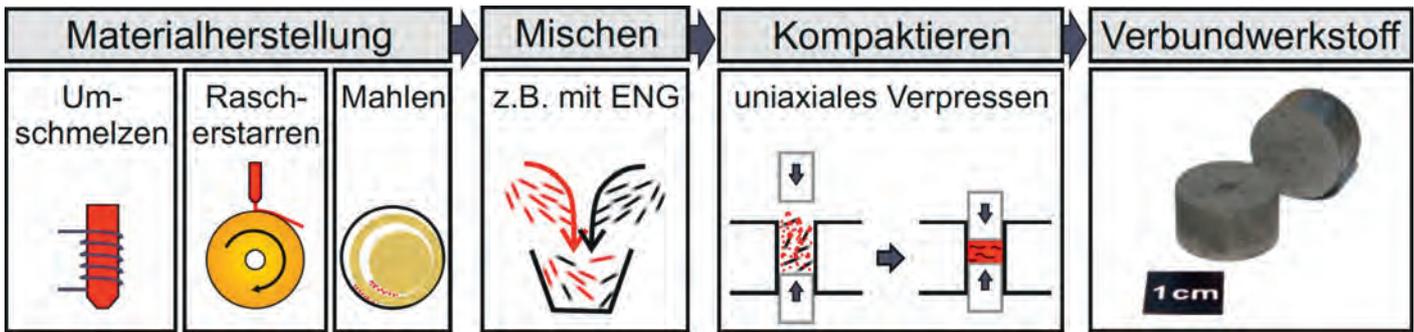
Die Umsetzung verschiedener Ansätze von der Projektidee über Bauteilentwicklungen und Systemlösungen bis hin zur Fertigung von Prototypen sowie der Technologietransfer in die Anwendung gehört zu den Schwerpunkten des Institutes. Die durchgeführten Projektarbeiten werden durch Mittel öffentlicher Institutionen und von Programmen verschiedener Bundesministerien sowie der Europäischen Union gefördert. Eine Vielzahl von Fragestellungen wird in bilateraler Zusammenarbeit mit nationalen und internationalen Industrieunternehmen bearbeitet und in die Praxis umgesetzt. Maßgeschneiderte Lösungen für einen breiten Anwendungsbereich werden auf Basis der vielfältigen modernen Technologien im Labor- und Technikumsmaßstab am Standort sowie der umfangreichen Expertise der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aus den Be-

reichen Physik, Chemie, Werkstoffwissenschaft und Verfahrenstechnik erarbeitet.

Die adressierten Werkstoffgruppen umfassen beispielsweise Leichtmetalle, Hochtemperaturwerkstoffe, zellulare metallische Werkstoffe, Verbundwerkstoffe sowie Funktionswerkstoffe, wie z. B. weichmagnetische Legierungen, Wasserstoffspeicherlegierungen, und thermoelektrische Legierungen sowie Konzepte zur Wärmespeicherung. Für die Herstellung der Werkstoffe kommen pulvermetallurgische Verfahren und pulverbasierte additive Fertigungsverfahren zum Einsatz, die gezielt auch auf den Werkstoff und die Bauteile angepasst werden. Die aktive Mitarbeit in Verbänden, Ausschüssen und Arbeitskreisen sichert eine gute Informationsbasis über aktuelle Herausforderungen in der Industrie.

Abb. 1: Skalenübergreifende Charakterisierungstechnologien am Fraunhofer IFAM zur Bewertung des Realverhaltens von Elektroden für die Elektrolyse





Werkstoffe und Fertigungstechniken für Funktionswerkstoffe der Wasserstoff-technologie und Elektrochemie

Wasserstoff gilt im Hinblick auf den weltweiten Klimawandel, auf geopolitische Abhängigkeiten bezüglich fossiler Energieträger sowie auf die globale Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Industrie als saubere, sichere und innovative Energieoption. Aus regenerativen Energiequellen erzeugter Wasserstoff, sogenannter grüner Wasserstoff, muss konventionelle fossile Energieträger im zunehmenden Maße ersetzen, um das Ziel Deutschlands zu erreichen, bis 2050 treibhausgasneutral zu werden. Dieser Paradigmenwechsel von einer auf fossilen Brennstoffen hin zu einer auf Wasserstoff basierenden nachhaltigen Energiewirtschaft verlangt zahlreiche technische, infrastrukturelle und regulatorische Innovationen. Energietechnische Systeme, die der Erzeugung, Speicherung, dem Transport sowie der Nutzung von Wasserstoff dienen, müssen kontinuierlich weiterentwickelt werden, um Verbesserungen hinsichtlich Energieeffizienz, Robustheit, Sicherheit und Wirtschaftlichkeit zu erreichen. Hierbei spielen neue Materialien und Fertigungstechnologien eine entscheidende Rolle. Die Wissenschaftler und Ingenieure der Abteilung Wasserstofftechnologie entwickeln vor diesem Hintergrund neue Werkstoffe, Fertigungsprozesse und prototypische Systeme in den Bereichen Elektrolyse und Wasserstoffspeicherung.

Elektrolyse

Über die Elektrolyse von Wasser mit regenerativen Energien (Wind, Solar) muss es gelingen, die Herstellung von Wasserstoff aus erneuerbaren Energien kostengünstig und klimaneutral zu bewerkstelligen. Besonders bei der alkalischen Elektrolyse ist es in den letzten Jahren zu erheblichen technologischen Weiterentwicklungen hinsichtlich Leistungsdichte und Effizienzsteigerung gekommen. Am Fraunhofer IFAM entwickelte Elektrodenmaterialien und Elektrokatalysatoren in Verbindung mit hochskalierbaren Fertigungsprozessen erlauben Effizienzstei-

gerungen sowie niedrigere Investitionskosten von Elektrolyseanlagen. Die entwickelten metallischen und oxidischen Katalysatorverbindungen (Fe- und Ni-basiert) können über unterschiedliche Wege auf stromführende metallische Substratmaterialien aufgebracht werden, z. B. durch pulvermetallurgische Verfahrensschritte. Dreidimensionale, offen-poröse Elektroden (sogenannte 3D-Elektroden) ermöglichen es, die elektrokatalytisch aktive Oberfläche deutlich zu steigern und den Gas-Elektrolyt-Fluss über die Porenstruktur zu steuern. Typische Porengrößen können im Bereich von 5 bis 1200 μm und Porositäten von 50 bis 95 Vol.-% eingestellt werden. Hochmoderne Analyseapparaturen gestatten die elektrochemische, oberflächenmorphologische sowie strukturelle Charakterisierung (Abb. 1).

Wasserstoffspeicherung

Die sichere, kompakte und zuverlässige Speicherung von Wasserstoff ist ein wichtiges Element in einem H_2 -basierten Energiekreislauf. Metallhydride (MH) weisen wesentliche Vorteile gegenüber Hochdruck- oder Kryospeichertechnologien auf, wie z. B.

Sicherheit: MH-Speichersysteme besitzen im Allgemeinen ein geringeres Gefahrenpotential als Flüssig- oder Druckwasserstoffspeicher.

Keine Abdampfverluste: Im Ruhezustand geben MH keinen Wasserstoff über Abdampfeffekte an die Umgebung ab.

Niedrige Betriebsdrücke: MH speichern Wasserstoff bei relativ niedrigem Gasdruck zwischen 5 und 30 bar, was im Ausgangsbereich vieler Elektrolyseure liegt. So können kosten- und wartungsintensive H_2 -Kompressoren vermieden werden.

Performanz: Am Fraunhofer IFAM Dresden wurde die Kinetik von verschiedenen MH-Materialien so verbessert, dass Lade- und Entladezeiten von wenigen Minuten erreicht werden können. Weiterhin bieten unsere MH höchste volumetrische H_2 -Speicherdichten.

Abb. 2: Prozess-Route zur Herstellung von Metallhydrid-Verbundwerkstoffen

Einfache Handhabung: MH-basierte Speichersysteme sind leicht anzuschließen und zu transportieren. Zudem bilden die Materialien am Ende ihrer Lebensdauer keinen gefährlichen Abfall.

Am Fraunhofer IFAM wurde eine komplette Prozesskette zur Herstellung von Metallhydridmaterialien aufgebaut, speziell Metallhydrid-Verbundwerkstoffe (Abb. 2), die in verschiedenen FuE-Projekten für die beteiligten Industriepartner weiterentwickelt werden. Schließlich werden metallhydridbasierte Speichertanks ingenieurstechnisch ausgelegt, gefertigt und in verschiedenen Betriebsmodi erprobt.

Additive Fertigung – vom Pulver zum Bauteil

Kundenindividuelle Produkte, steigende Variantenvielfalt, kürzere Innovationszyklen und der Spagat zwischen kleinen Losgrößen und der Umsetzung in eine Massenfertigung sind Herausforderungen, denen sich produzierende Unternehmen im heutigen Wettbewerb stellen müssen. Gleichzeitig spielt die effiziente Nutzung vorhandener Ressourcen in der Produktion in Zeiten zunehmender Ressourcenknappheit und damit zusätzlichen Kostendruckes eine entscheidende Rolle. Insbesondere Energie- und Materialeffizienz haben dabei eine sehr große Bedeutung. Eine vielversprechende Möglichkeit stellt die Herstellung mittels additiver Fertigung dar. Neben dem hohen Materialnutzungsgrad erlauben die additiven Verfahren durch die hohe Designfreiheit auch völlig neue Konstruktionen mit Leichtbaustrukturen oder integrierter Funktionalität (z. B. Strömungskanäle), die mit konventionellen Bearbeitungstechniken nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohen Kosten realisierbar wären. Außerdem können Zeit, Energie und Investitionskosten durch Vermeidung von Formen, Gesenken oder an-

deren Produktionshilfsmitteln eingespart werden. Die Wirtschaftlichkeit der Produktion kann also durch die stetige Senkung der Material- und Anlagenkosten, die Verringerung der Fertigungszeit sowie ein optimiertes Bauteildesign wesentlich verbessert werden. Damit haben additive Fertigungsverfahren für formkomplexe Bauteile ein sehr hohes Potential, um Produktivität, Wirtschaftlichkeit und Ressourceneffizienz im Vergleich zur derzeitigen Herstellung signifikant zu steigern.

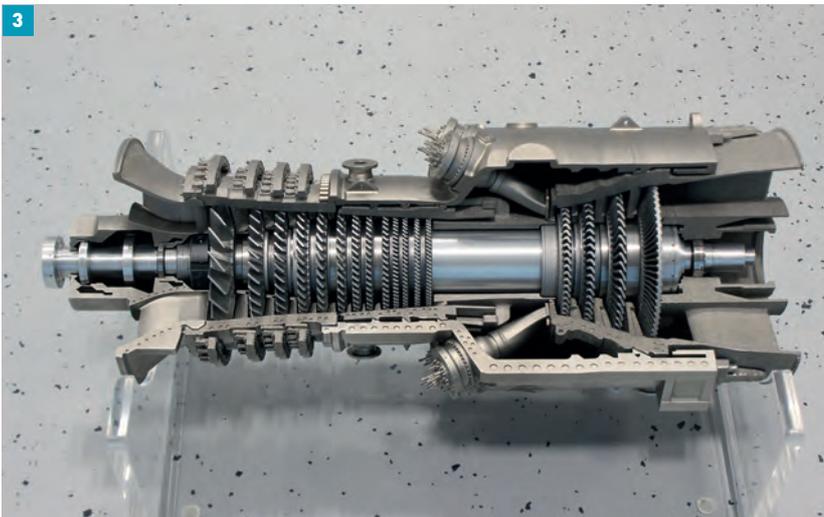
Am Fraunhofer IFAM Dresden sind Anlagen zu Technologien mit einstufigen Prozessen (Selektives Elektronenstrahlschmelzen) ebenso wie mit mehrstufigen sinterbasierten Prozessen (3D-Siebdruck, Fused Filament Fabrication, MoldJet®, Gelcasting und Lithography-based Metal Manufacturing) vorhanden, die im Innovation Center Additive Manufacturing ICAM® gebündelt sind.

Selektives Elektronenstrahlschmelzen

Selektives Elektronenstrahlschmelzen (engl. Powder Bed Fusion by Electron Beam (PBF-EB)) ist ein pulverbettbasiertes Strahlschmelzverfahren, mit Hilfe dessen Bauteile durch das schichtweise Aufschmelzen des Pulvers mittels eines Elektronenstrahls generiert werden. Der Prozess unterscheidet sich neben der Strahlquelle von anderen additiven Verfahren wie folgt:

- Das Pulverbett wird während des Aufbauprozesses auf erhöhter Temperatur gehalten (z. B. bei TiAl6V4 bei ca. 700 °C). Dies führt zu einer beginnenden Versinterung der Pulverpartikel. Dadurch wird einerseits eine Stützwirkung im Pulverbett erzeugt. Andererseits hilft die minimale Versinterung dabei, die Entstehung von Pulverstaub beim Auftreffen des Elektronenstrahls auf das Pulverbett zu vermeiden. Die aktuell im Fokus der Entwicklungen stehenden Werkstoffgruppen sind hochschmelzende Metalle, Stähle, Kupfer, Metal Matrix Composites, Nickelbasislegierungen und Titanaluminide.
- Der Prozess läuft unter Hochvakuum. So werden die Verunreinigungsgehalte im Prozess sehr niedrig gehalten, wodurch insbesondere sehr reaktive Materialien verarbeitbar werden.
- Der Elektronenstrahl wird trägheitsfrei abgelenkt, wodurch sehr hohe Scanraten ($>> 1000$ m/s) möglich sind. Daraus ergeben sich vergleichsweise hohe Aufbauraten (z.B. TiAl6V4: 55 – 80 cm³/Stunde).

Abb. 3: Skaliertes Modell einer Gasturbine zur Stromerzeugung; komplett mit additiven Verfahren hergestellt



Der überwiegende Teil der F&E-Projekte beschäftigt sich mit bisher noch nicht mittels SEBM verarbeiteten Werkstoffen. Einige davon wie bspw. TiAl, Reinkupfer, Werkzeugstahl (z. B. 1.2343) oder FeCr-10V sind bevorzugt bzw. ausschließlich mittels SEBM verarbeitbar, da sie sehr reaktiv und/oder rissanfällig sind. Außerdem führt der geringe Temperaturgradient zwischen Pulverbett und Schmelzbereich zu einer Reduzierung der inneren Spannungen im Bauteil, was auf die grundsätzliche Verarbeitbarkeit einerseits und die Eigenschaften von Werkstoffen andererseits positive Auswirkungen hat. Je nach Prozesssteuerung ist auch eine Beeinflussung der entstehenden Gefüge möglich, wodurch einerseits lokal angepasste Eigenschaften, andererseits auch ein in situ-Legieren bei der Verarbeitung von Pulvermischungen prinzipiell adressiert werden können. Die vergleichsweise groben und breiten Pulverfraktionen bieten zudem Freiheiten hinsichtlich der Pulverkosten.

Dreidimensionaler Siebdruck

Mit dem Siebdruckverfahren steht eine robuste und erprobte Technologie zur Verfügung, die die wirtschaftliche Massenfertigung von jährlich Millionen fein strukturierter und komplexer Bauteile erlaubt, die mit anderen AM-Verfahren gar nicht oder nur sehr aufwändig realisierbar sind. So ermöglicht der 3D-Siebdruck Strukturfeinheiten bis hinunter zu 60 µm mit geschlossenen Kanälen und Hinter-schneidungen.

Durch die sinterbasierte pulvermetallurgische Route können Siebdruckstrukturen aus nahezu allen sinterfähigen Pulvern hergestellt werden. Neben industriell relevanten Metallen und Legierungen auf Basis von z. B. Stahl, Nickel, Kupfer, Wolfram, Molybdän und Titan sind dies vor allem auch Pulvermischungen und Keramiken. Aktuell werden weitere Werkstoffsysteme entwickelt und in Zusammenarbeit mit Kunden qualifiziert.

Durch das endkonturnahe Verfahren und die gegenüber anderen additiven Verfahren sehr hohe Oberflächengüte kann je nach Bauteil eine Nachbearbeitung entfallen. Zusammen mit der Massentauglichkeit des 3D-Siebdrucks können geringe Herstellungskosten vergleichbar dem des Spritzgusses realisiert werden. Dadurch ergeben sich Einsatzgebiete für Struktur- und Werkstoffanwendungen, die von der Mikrosystemtechnik über Leichtbau bis zur Elektrotechnik reichen. Weitere mögliche Anwendungen sind Filterbauteile, Katalysatorstrukturen oder kleinste Wärmeübertrager. Ein Highlight ist der Druck von hocheffizienten Elektroblechen für die Elektromobilität, die eine wesentliche Erhöhung der Effizienz von Elektromotoren erlauben.



Metal Fused Filament Fabrication (FFF)

Das Schmelzschichtverfahren (Fused Filament Fabrication, FFF) als Verfahren für die generative Fertigung von Kunststoffbauteilen findet sowohl im industriellen als auch im privaten Einsatz eine breite Anwendung. Gründe hierfür sind die einfache Handhabung, breite Materialauswahl und eine günstige und erschwingliche Anlagentechnik.

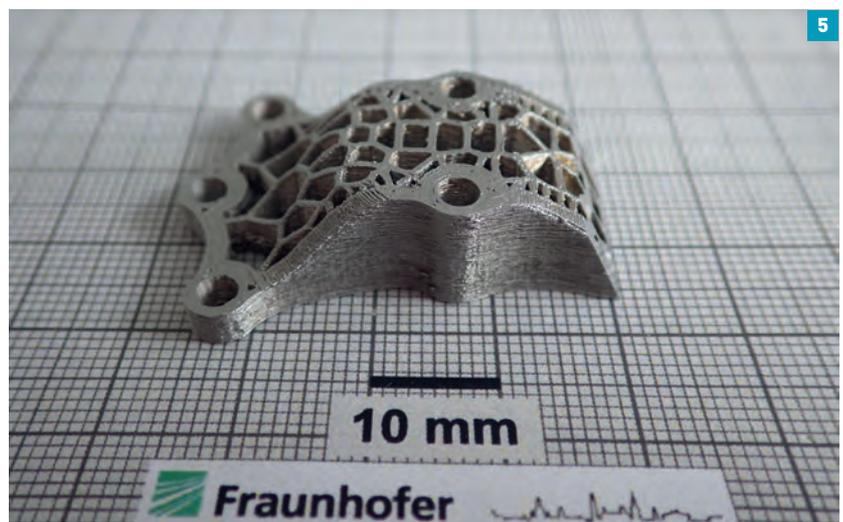
Am Fraunhofer IFAM werden metallpulverhaltige Filamente unter Ausnutzung des pulvermetallurgischen Know-Hows des Institutes weiterentwickelt. Das Filament wird dabei zu einem aus Kunststoff und Metallpulver bestehendem Grünteil verdrückt und kann im Anschluss analog zu herkömmlichen Sinterverfahren, wie beispielsweise dem Metallpulverspritzguss (MIM), über einen Wärmebehandlungsprozess zu einem kunststofflosen, metallischen Bauteil gesintert werden. Das Verfahren zeichnet sich dabei insbesondere durch seine verhältnismäßig geringen Investkosten aus und ermöglicht

Abb. 4:

Demonstratorbauteile für generative Fertigung durch 3D-Siebdruck

Abb. 5:

Demonstratorbauteil für generative Fertigung durch Fused Filament Fabrication



gleichzeitig komplexe Freiformgestaltung. Durch die Nähe zum Spritzgussverfahren eignet sich diese werkzeuglose Methode zur Herstellung von Prototypen, Sonderbauteilen und Kleinserien, wobei sie auf handelsübliche 3D-Datenformate zurückgreift.

Am Fraunhofer IFAM stehen mehrere Druck- und Sinteranlagen zur Verfügung, insbesondere die Fusion Factory der Firma Xerion, die die gesamte Prozesskette des FFF vom Druck über die Entfernung des organischen Hilfsstoffes bis zur Sinterung in einem Gesamtsystem realisiert. Am Fraunhofer IFAM Dresden werden sowohl beliebige kommerziell verfügbare Filamente verarbeitet als auch speziell auf die Kundenanforderung Filamente angepasst und neu entwickelt. Als Werkstoffe können ähnlich wie beim 3D-Siebdruck alle sinterbaren Pulver eingesetzt werden, im Gegensatz zu den Pulverbettverfahren besteht keine Einschränkung bezüglich Pulverform oder Pulvergröße.

MoldJet®

Das MoldJet®-Verfahren der israelischen Firma Tritone Technologies Ltd. erweitert die Kompetenzen des Fraunhofer IFAM in Dresden im Bereich sinterbasierter additiver Fertigungsverfahren. Dabei hat das Fraunhofer IFAM als weltweiter Erstnutzer in Forschung und Entwicklung eine internationale Vorrangstellung. Der MoldJet®-Prozess eröffnet neue Möglichkeiten in der Designfreiheit von Metallbauteilen und besticht dabei durch seine enorme Produktivität von bis zu 1600 cm³/h. Dennoch ist auch die Herstellung von Bauteilen in Stückzahl Eins oder in kleiner bis mittlerer Serie realisierbar.

Das MoldJet®-Verfahren bildet eine Synergie aus zwei Fertigungsverfahren zur flexiblen Herstellung

kundenspezifischer Teile. Diese arbeiten im Wechsel zur lagenweisen Bauteilfertigung. Dabei wird in einer Lage zunächst die Form als Negativ zur Bauteilgeometrie aus einem wachsartigen Polymer mit sog. Inkjet-Druckköpfen hergestellt. Diese gedruckte Lage Formmaterial wird dann über eine Schlitzdüse und eine Rakel mit Metallpulverpaste befüllt.

Durch den lagenweisen Aufbau ist die Fertigung von komplexen Bauteilen mit Hinterschneidungen oder auch innenliegenden Kanälen ohne Verwendung von Stützstrukturen möglich.

Das Anordnen mehrerer Bauteile nebeneinander ermöglicht den Druck einer ganzen Charge an Teilen. Zudem können mehrere Chargen übereinander platziert und der Bauraum von 400 mm x 240 mm x 120 mm damit vollständig ausgenutzt werden. Zugleich bietet das MoldJet®-Verfahren als einziges Verfahren weltweit die Option, fehlerhafte Lagen zu detektieren und zu korrigieren.

Wie bei allen sinterbasierten Verfahren ist die Auswahl an potentiellen Werkstoffen groß, Einschränkungen bezüglich Pulverform oder Pulververteilung bestehen nicht, so können preisgünstige Spritzgussqualitäten (MIM) eingesetzt werden.

Gelcasting

Mit dem 3D-Gelcasting hat das Fraunhofer IFAM in Dresden eine neue Technologie zur Herstellung von metallischen Bauteilen etabliert. Bei dem hybriden Verfahren erfolgt die Formgebung über einen Suspensionsguss in Gießformen bei Raumtemperatur, was auch bei Bauteilen > 1 kg weniger als eine Minute dauert. Die Formen können dabei klassisch oder additiv gefertigt sein, wodurch sich eine hohe Flexibilität bei der Prozessauslegung ergibt.

Der 3D-Gelcastingprozess stellt eine suspensionsbasierte Formgebungsrouten dar und verbindet die Vorteile der sinterbasierten additiven Fertigung mit einer hohen Freiheit in der Prozessauslegung. Bei dem Prozess wird eine Metallpulversuspension in eine Form gegossen und erstarrt sedimentationsfrei nach kürzester Zeit zu einem homogenen festen Grünteil. Das Grünteil besitzt dann eine hohe Festigkeit und ausgezeichnete mechanische Bearbeitungseigenschaften. Im darauffolgenden Wärmebehandlungsprozess werden die organischen Bestandteile ausgebrannt (Entbinderung) und das Bauteil verdichtet (Sinterung). Die auf diese Weise hergestellten Sinterteile erreichen 95 % - 99 % der theoretischen Werkstoffdichte. Die typischerweise geringe lineare Schwindung von ~ 14 % ist sehr homogen und isotrop.

Abb. 6:
Gesintertes Bauteil aus
rostfreiem Edelstahl (316L),
gedruckt mit MoldJet®



Die Freiheit in der Prozessauslegung besteht in dem individuell gestaltbaren Gießprozess (z. B. Schwerkraftgießen, Vakuumgießen, Niederdruckgießen) und der frei wählbaren Formherstellung als verlorene Form (z. B. FFF-Druckform, Wachsform) oder Dauerform (z. B. Silikonform, Metallform). Die Oberflächenqualität der Form wird dabei 1:1 auf das Bauteil übertragen, wodurch auch ohne Nachbearbeitung sehr hohe Oberflächenqualitäten oder fein strukturierte Oberflächen möglich sind. Eine Oberflächennachbearbeitung ist damit weitgehend überflüssig. Der Prozess selbst bietet so die Möglichkeit einer kostengünstigen Einzelteilfertigung im Labormaßstab, kann aber auch für die Massenproduktion am Fließband hochskaliert werden, sofern es die Geometrie zulässt.

LMM

Als neueste Erweiterung seines Portfolios im Bereich der Additiven Fertigung hat das Institut eine Anlage zum sogenannten Lithography-based Metal Manufacturing, kurz LMM, in Betrieb genommen. Damit ist das Fraunhofer IFAM Dresden einer der ersten Anwender von LMM in der angewandten Forschung und Entwicklung weltweit.

LMM ist ein Stereolithographieverfahren. Grundlage ist eine Paste, die sich dadurch auszeichnet, dass sie neben Pulver und organischen Bestandteilen einen Photoinitiator enthält, der im nahen UV-Licht bei 405 nm aushärtet. Die Paste wird mit einer Rakel als dünne Schicht lagenweise aufgebracht und danach wird diese mit einer UV-Lampe selektiv verfestigt. Wenn das Bauteil bzw. die Bauteile fertig aufgebaut sind, wird der zu diesem Zeitpunkt bei Raumtemperatur feste Block aus der Baukammer entnommen. Nun wird der Block mit warmer Luft erwärmt, sodass die nicht belichtete Paste schmilzt und nur das feste, belichtete Grünteil bzw. die Grünteile zurückbleiben. Abschließend entstehen durch Entbindern und Sintern dichte Bauteile, deren Eigenschaften mit denen von Metal Injection Molding (MIM) vergleichbar sind.

LMM zeichnet sich durch sehr filigrane Strukturen aus. Durch die hervorragende Oberflächenqualität des Verfahrens werden neue Anwendungsgebiete möglich, die mit anderen additiven Technologien bisher nicht umsetzbar waren. Diese reichen von ästhetischen Anwendungen wie Schmuck über Mikrofluidik bis hin zu elektronischen Bauteilen.

Werkstoffe für die Medizintechnik am Fraunhofer IFAM Dresden

Auch in der Medizintechnik sind neue Materialien und Werkstoffe starke Innovationstreiber. Damit



Abb. 7:

Schlittenhalterung aus Edelstahl (1.4404). Gussformherstellung mittels FFF, gegossen mittels Gelcasting

können neue Funktionalitäten, neue Strukturen oder auch neuartige medizintechnische Prozessketten ermöglicht werden. Für diese Entwicklungen spielen pulvermetallurgische Methoden aufgrund der vielen Freiheiten in der Formgebung und im Materialdesign eine Schlüsselrolle. Am Fraunhofer IFAM Dresden werden dazu in verschiedenen Disziplinen der Medizin- und Implantattechnik neue Lösungen entwickelt. Das umfasst die maxillofaziale Chirurgie, die Orthopädie und die interventionelle Kardiologie, aber auch die medizinische Gerätetechnik.

Pulvermetallurgische Technologien spielen auch für zahntechnische Ersatzmaterialien eine wichtige Rolle. Insbesondere Kronen- und Brückengerüste erfordern eine anatomische Anpassung im Front- und Seitenzahnbereich. Der Medizinproduktehersteller *Amann Girrbach AG* entwickelte hierzu in Kooperation mit dem Fraunhofer IFAM Dresden eine CAD/CAM-Fertigung von dentalen Restaurationmaterialien. Dieses unter dem Namen „Ceramill Sintron®“ zugelassene und vermarktete Verfahren besteht aus der CNC-basierten Trockenbearbeitung von CoCr-Grünlingen und dem anschließenden Sin-

Abb. 8:

Mit LMM hergestellter Demonstrator „Dresdner Frauenkirche“



terprozess unter Schutzgasatmosphäre, die in den Zahnlaboren dezentral auf Desktop-Fräsgeräten und Sinteröfen durchgeführt wird. Die anschließende Verblendung kann unter Verwendung konventioneller CoCr-Gerüstkeramiken erfolgen.

In der interventionellen Kardiologie haben Stents zu einem starken Rückgang der Sterblichkeit der koronaren Herzerkrankung geführt. Mit permanenten Stents sind jedoch Komplikationen wie späte In-stent-Thrombosen oder Restenosen (erneute Gefäßverschlüsse) verbunden. Diese Komplikationen sollen durch neuartige Stents aus Werkstoffen, die im Körper abbaubar sind, vermieden werden. Um die hohe Festigkeit und Steifigkeit von Edelstahl-Stents mit bioresorbierbaren Eigenschaften zu kombinieren, wurden am Fraunhofer IFAM Dresden in den letzten Jahren zahlreiche Werkstoffe auf ihre Tauglichkeit geprüft. Dabei wurde Molybdän als besonders vielversprechender Werkstoff identifiziert. Molybdän ist ein Refraktärmetall mit höherer Festigkeit als Edelstahl, zeigte sich aber überraschenderweise auch als bioresorbierbar. Mit seiner Kombination aus günstiger Degradationsrate und außerordentlich hoher Festigkeit und Steifigkeit verspricht der Werkstoff nun die Entwicklung von Stents mit besonders dünnen Stentstreben, die wiederum günstige Heilungschancen für Gefäßverschlüsse versprechen. Gemeinsam mit dem Institut für Kardiologie der TU Dresden wurde im Rahmen einer ersten Tierstudie im SAB-geförderten Projekt *QUA DEMOS* gezeigt, dass Molybdän im Körper abbaubar ist und eine gute Biokompatibilität zeigt.

Die Resorbierbarkeit von Molybdän eröffnet über Stents hinaus weitere Anwendungsmöglichkeiten.

Im Jahr 2022 hat ein vom Else Kröner Fresenius Zentrum für Digitale Gesundheit gefördertes Projekt zur Erforschung bioresorbierbarer Elektroden für temporäre Herzschrittmacher begonnen. Das Projekt wird in Kooperation mit Medizinern der Dresdner Universitätsklinik und des Herzzentrums Dresden durchgeführt. Mittlerweile sind die ersten in vivo-Modellstudien im Gange, um die Abbaubarkeit zu belegen und einen Vergleich zu kommerziell verfügbaren Elektroden aus Edelstahl zu ziehen.

Besondere Anforderungen an die Werkstoffeigenschaften und Fertigungsverfahren werden durch den hohen Individualisierungsbedarf insbesondere in der maxillofazialen Chirurgie gestellt. Hier liefert das Institut zahlreiche ungewöhnliche Lösungen. Die oben genannten günstigen Eigenschaften von Molybdän sind beispielsweise die Basis für die Entwicklung von Schädelimplantaten für die Pädiatrie. Hier wird in dem BMBF-Projekt *ResorbM* gemeinsam mit Partnern aus Industrie und Medizin ein resorbierbares Implantat für die Behandlung der frühkindlichen Kraniosynostose entwickelt. Dabei steht neben der Qualifizierung geeigneter Legierungen auch die Entwicklung passender Fertigungstechnologien für solche patientenindividuellen Implantate im Mittelpunkt. Schädelimplantate für den permanenten Einsatz wurden in dem BMBF-Projekt *OsteoPAKT* entwickelt. Hier wurden insbesondere Ansätze verfolgt, mit denen ein vorkonfektioniertes zelluläres Titan-Implantat in der Klinik individualisiert werden kann und dann im Verbund mit aushärtbaren Knochenzementen seine finale Festigkeit und Funktion erreicht. Auf diese Weise können einerseits kostengünstige Implantate realisiert werden, andererseits ermöglicht diese Prozesskette die Bereitstellung von individualisierten Implantaten innerhalb sehr kurzer Zeit. Dies ist bei der zeitkritischen Behandlung von Defekten der Schädelkalotte ein sehr wichtiges Argument.

Eine aktuelle Entwicklung auf Basis von versinteren Titanfasern nutzt die Möglichkeit, richtungsabhängige mechanische Eigenschaften zu realisieren und damit eine bessere Anpassung an den Knochen zu erzeugen. Dies soll die dauerhafte Verankerung von auslockerungsgefährdeten Implantaten deutlich verbessern.

In der Kieferchirurgie ist die Behandlung größerer Knochendefekte nicht vollständig gelöst. Für die Therapie solcher kritischen Defekte im Kieferknochen wurde am Fraunhofer IFAM in Dresden ein degradierbares Magnesiumimplantat mit einer Faserstruktur entwickelt, das dem Knochen als Leitstruktur für das Wachstum dient. Aufgrund seiner

Abb. 9:
Wirbelimplantat, Modell



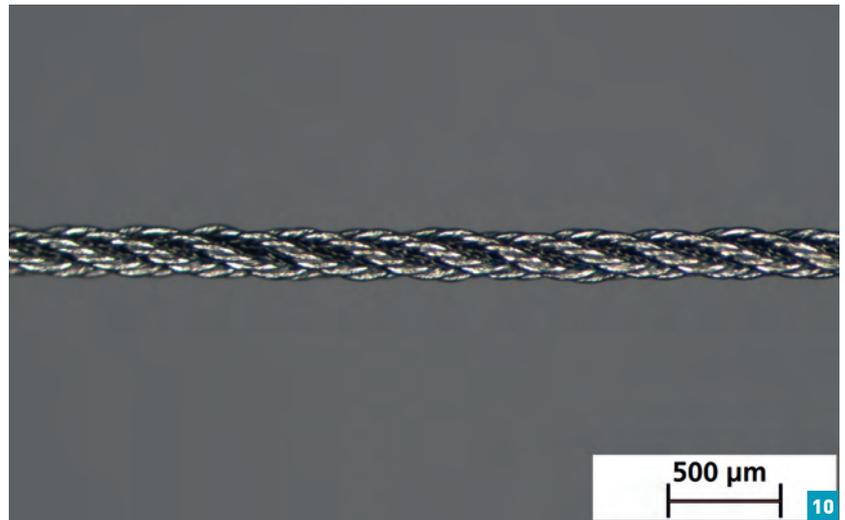
günstigen biomechanischen Eigenschaften wirkt sich das Implantat besonders stimulierend auf das Knochenwachstum aus und verschwindet nach erfolgter Heilung. Die patentgeschützte medizintechnische Prozesskette konnte bereits erfolgreich im Tierversuch demonstriert werden. Nun sucht das Institut nach einem Partner, um sie zur Marktreife zu bringen.

Auch in der Orthopädie spielt die kostengünstige Individualisierung von Implantaten eine Rolle. Dazu wurde am Fraunhofer IFAM Dresden mit dem bereits genannten Selektiven Elektronenstrahlschmelzen (SEBM) eine additive Fertigungsmethode für die Herstellung von Hüftschafthimplantaten qualifiziert. Eine ausreichende Bauteilsicherheit, die durch geschickte Parameterauswahl sowie durch geeignete Nachbehandlungsmethoden beim Drucken der Bauteile erreicht wurde, konnte in einem standardisierten Dauerschwingversuch nachgewiesen werden.

Neue Werkstoffe werden auch für medizintechnische Geräte entwickelt. Hier wird die Additive Fertigung für die Herstellung von Kollimatoren in Röntgengeräten eingesetzt. Solche Kollimatoren bestehen aus wolframbasierten Werkstoffen in geometrischen Strukturen, die der Parallelisierung der Röntgenstrahlung dienen. Diese Aufgabe erfordert komplexe Bauteile mit sehr geringen Toleranzen. Am Fraunhofer IFAM Dresden wurde für die Realisierung dieser Bauteile ein auf dem 3D-Siebdruck basiertes Fertigungsverfahren entwickelt, das gemeinsam mit Industriepartnern kommerziell umgesetzt wird.

Innovative pulvermetallurgische Werkstofftechnologien für nachhaltige Produkte im Zukunftsfeld Mobilität

Zur konsequenten Nutzung des Anwendungspotentials von Verbundwerkstoffen ist die gleichzeitige Entwicklung effizienter und somit kostengünstiger Fertigungsverfahren notwendig. Hierbei hat die Pulvermetallurgie ein großes Innovationspotential. Die Bedeutung der Pulvermetallurgie bei der Erzeugung von metallischen Verbundwerkstoffen und Hybridmaterialien nimmt zu. Das Konzept dieser Werkstoffe, die spezifischen Eigenschaften einzelner Werkstoffe so zu kombinieren, dass die Eigenschaften des Verbundes die gestellten Anforderungen erfüllen, kann hierbei innerhalb eines breiten Spektrums umgesetzt werden. Diese PM-Verfahren bieten eine große Flexibilität bezüglich Geometrie, Größe und Volumenanteil der Verstärkungskomponente sowie der Auswahl der Matrixlegierung. Neben konventionellen Legierungssystemen kön-



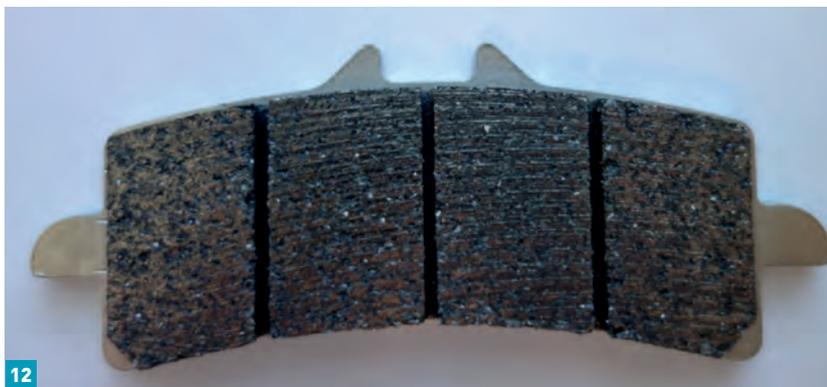
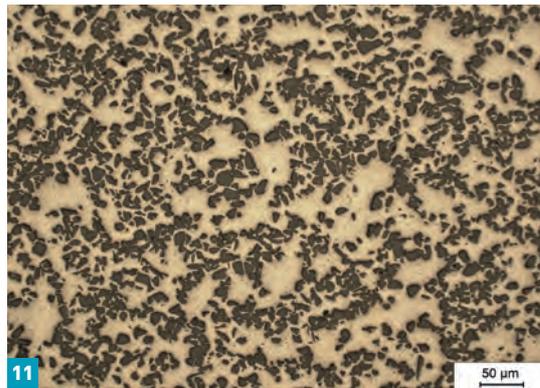
nen auch rascherstarre Sonderlegierungen genutzt werden, wodurch die Möglichkeiten einer „maßgeschneiderten“ Werkstoffherstellung umfangreicher werden.

Beispielhaft für den Einsatz metallischer Verbundwerkstoffe ist die Bremstechnologie in Fahrzeugen. Eine saubere Mobilität braucht auch in der Bremstechnologie neue Lösungsansätze. Motivation zur Entwicklung des Systems Aluminium-Bremsscheibe - Bremsbelag für hohe Anforderungen ist der Bedarf an Leichtbauwerkstoffen insbesondere für die Automobilindustrie. Das bereits nachgewiesene große Umweltpotenzial solcher partikelverstärkter Aluminiumbremsscheiben liegt neben der Gewichtsreduktion im geringen Bremsbelagverschleiß und einem reduzierten Belagverschleiß, was die Feinstaubemission dieses innovativen Bremssystems im Vergleich zum herkömmlichen System Grauguss-Bremsscheibe - Bremsbelag enorm reduziert. Die korrosionsfreie Al-Bremsscheibe verhindert darüber hinaus, dass Rostbildung, wie sie bei Grauguss-Bremsscheiben normal ist, die Bremswirkung beeinträchtigen kann. Aufgrund der Stromerzeugung durch Rekuperation, d.h. Bremsen mit dem Elektromotor, werden die Radbremmen im Elektrofahrzeug seltener gebraucht. Das Fraunhofer IFAM Dresden hat als geeignetes Verfahren zum Konsolidieren von hartstoffhaltigen Aluminiumpulvermischungen das Spark-Plasma-Sintern (SPS) als Alleinstellungsmerkmal gegenüber dem Stand der Technik entwickelt. Dieses Fertigungsverfahren bietet ein hohes Potenzial zur Serienfertigung von AlMC-Bremsscheiben. Neben der Verfahrensentwicklung werden am Fraunhofer IFAM auch gezielt Leichtmetall-Hochleistungswerkstoffe für die Bremscheiben entwickelt. Diese Legierungen auf Basis sogenannter „Compositionally Complex

Abb. 10: Mo-Litze für Schrittmacherelektroden, EKfZ-Projekt

Abb. 11:

Gefüge eines partikelverstärkten Aluminium-Verbundwerkstoffes

**Abb. 12:**

Metallischer Bremsbelag für Motorräder

Alloys" (CCA) sind nicht nur leicht und verschleißbeständig, sie erweitern aufgrund ihres Schmelzpunktes von über 1.000 °C das Einsatzgebiet der AIMC-Bremsscheiben auf schwere PKW, LKW und Schienenfahrzeuge.

Auch für den Gegenpart zur Bremsscheibe, den Bremsbelag, werden wesentliche Weiterentwicklungen verwirklicht. Die Verwendung von Kupfer in Bremsbelägen wird künftig aus Gründen des Um-

weltschutzes eingeschränkt und wird möglicherweise vollständig verboten. Seit 2021 dürfen beispielsweise in den US-Bundesstaaten Washington und Kalifornien keine Bremsbeläge mehr vertrieben werden, die einen Kupferanteil von mehr als 5 Prozent haben. Bis 2025 müssen dort die Bremsbeläge mit maximal 0,5 % fast vollständig kupferfrei sein. Obwohl es bei den organischen Bremsbelägen schon Lösungen am Markt gibt, die diesen Anforderungen bereits genügen, existiert bei den metallischen Sinter-Bremsbelägen diesbezüglicher Handlungsbedarf. Sinter-Bremsbeläge können aufgrund ihrer höheren Temperaturbeständigkeit für Hochleistungsbremsen z. B. im Schienenverkehr oder in Motor- bzw. Fahrrädern genutzt werden. Ziel dieses Forschungsvorhabens am Fraunhofer IFAM Dresden ist die Entwicklung kupferfreier Sinter-Bremsbeläge mit gleichwertigen tribologischen Eigenschaften wie die herkömmlichen metallischen Bremsbeläge.

Ein weiteres Einsatzgebiet der metallischen Verbundwerkstoffe sind Leistungsmodule. Die Robustheit dieser Module, den Kernelementen jeder Leistungselektronik, muss mit Bezug auf die Elektromobilität deutlich verbessert werden. Im Fokus stehen dabei Aspekte eines robusten Designs ebenso wie Fragen der Systemkühlung. Am Fraunhofer IFAM Dresden werden Verbundwerkstoffe mit hoher thermischer Leitfähigkeit ($> 400 \text{ W/mK}$) und geringem thermischen Ausdehnungskoeffizient ($< 10 \text{ ppm/K}$) entwickelt und für die Modulherstellung bereitgestellt. Alle Werkstoffe werden pulvermetallurgisch hergestellt. Die Prozesskette Pulver - Pulveraufbereitung - Kompaktierung - Endbearbeitung wird unter Kostenaspekten optimiert. Einen Schwerpunkt bildet die endkonturnahe Fertigung der Kühlplatten.

KONTAKT

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR FERTIGUNGSTECHNIK UND ANGEWANDTE MATERIALFORSCHUNG IFAM

Institutsteil Dresden
Prof. Dr.-Ing. Thomas Weißgärber
Winterbergstraße 28
D-01277 Dresden
Tel.: +49 (0)351 2537-300
info@ifam-dd.fraunhofer.de
www.ifam-dd.fraunhofer.de



ZVO-OBERFLÄCHENTAGE

BERLIN

13.-15.9.2023

Kongress für Galvano- und Oberflächentechnik

JETZT ANMELDEN!

<https://oberflaechentage.zvo.org>



- **Keynote der ehemaligen Box-Weltmeisterin Regina Halmich**
- **90 Vorträge aus den Bereichen**
 - Klimaneutralität & Energie- und Ressourceneffizienz
 - Abwasserbehandlung
 - Industrielle Bauteilreinigung
 - Oberflächenfunktionalisierung
 - Vor- und Nachbehandlung
 - Verschleißschutz & Tribologie
 - Funktionsschichten
 - Ergebnisse aus der Forschung – Junge Kollegen berichten
 - Unternehmensführung
 - u.v.m.
- **Sprechstunde zu Entwicklungen in der europäischen und nationalen Umwelt- und Chemikalienpolitik**
- **Industrierausstellung mit 70 Ausstellern**

REPARATURSCHWEISSUNG VON GUSSEISEN MIT KUGELGRAFIT

Dr.-Ing. Steffen Schönborn und Dr.-Ing. Christoph Bleicher,
Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF

Bauteile aus Gusseisen mit Kugelgrafit (GJS) kommen in vielen Bereichen des Maschinen- und Anlagenbaus sowie in der Automobil- und Energietechnik zum Einsatz. Der Gießprozess bietet gestalterische Freiheit, hohe Festigkeiten und die Fertigung großer Abmessungen. Hochbelastete Bauteile mit sehr großen Abmessungen und hohen Massen müssen besondere Anforderungen bezüglich Schwingfestigkeit und Bruchsicherheit erfüllen und Forderungen zur Verbesserung des Leistungsgewichtes und der Gewichtsreduktion führen zu komplexer werdenden Herstellungsprozessen. Damit steigt die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von formfüll- und schwindungsbedingten Ungängen sowie für Unregelmäßigkeiten im Gefüge. Hohe Kosten durch Aussonderung und Neuabguss dieser ungenügenbehafteten Großgussbauteile sollen durch neue Reparaturverfahren, wie dem Reparaturschweißen, vermieden werden.

Aufgrund guter Festigkeitseigenschaften und den gegebenen Möglichkeiten der gestalterischen Freiheit durch den Gießprozess, können Bauteile aus Gusseisen mit Kugelgrafit mit hohen Festigkeiten und großen Abmessungen hergestellt werden. Forderungen zur Verbesserung des Leistungsgewichtes und der Gewichtsreduktion führen zu einer zunehmenden Komplexität und damit zu Herausforderungen bei der Herstellung. Nicht eindeutige Empfehlungen einschlägiger Normenwerke über die Auswirkung von auftretenden Fehlstellen, insbesondere auf die Bauteilfestigkeit, führen zur Aussonderung der Bauteile. Aufgrund hoher Kosten durch Aussonderung und Neuabguss dieser ungenügenbehafteten Großgussbauteile steigt das Interesse an Reparaturverfahren.

In dem Forschungsprojekt „nodularWeld“ wurde sowohl die Schweißbarkeit als auch dessen Einfluss auf das Schwingfestigkeitsverhalten für drei unterschiedliche und im Großgussbereich relevante Gusseisenlegierungen untersucht. Aufgrund der unterschiedlichen Gefügeausprägungen dieser Gusslegierungen – EN-GJS-400-18-LT (ferritisches Gefüge), EN-GJS-450-18 (ferritisches-mischkristallverfestigtes Gefüge) und EN-GJS-700-2 (perlitisches Gefüge) – mussten anhand von schweißtechnischen Voruntersuchungen im ersten Schritt die geeigneten Schweißparameter erarbeitet werden. Die Bewertung der Schweißbeignung der artfremd ausgeführten Schweißung erfolgte anhand quasistatischer und metallographischer Untersuchungen. Nach

Identifikation der Schweißzusatzwerkstoffe und der Schweißparameter für ein zufriedenstellendes Festigkeitsverhalten, wurden im ersten Schritt dickwandige Gussplatten in den Abmessungen 1000 x 600 x 150 mm für die Hauptversuchsreihen abgegossen, anschließend spanend vorbearbeitet und im letzten Schritt die Reparaturschweißung hergestellt.

Im Rahmen dieser Hauptversuchsreihen wurden zunächst kleine Rundproben aus dem Grundwerkstoff, der Wärmeeinflusszonen und dem Schweißgut unter Dehnungsregelung und Axialbelastung zur Ermittlung der zyklischen Werkstoffkennwerte dieser drei Werkstoffbereiche untersucht. Durch Untersuchungen an integralen Rundproben, welche alle drei Zonen der Schweißverbindung aufweisen, wurde sowohl das spannungsbasierte als auch das dehnungsbasierte zyklische Werkstoffverhalten ermittelt. Anhand der Ergebnisse können durch die Gegenüberstellung der spezifischen Wöhlerlinien Abminderungsfaktoren für die Schweißung ermittelt, sowie lokale Werkstoffkennwerte zur numerischen Abbildung der Schweißung bereitgestellt werden. Nachfolgend sind beispielhaft ausgewählte Ergebnisse für den Werkstoff EN-GJS-400-18-LT abgebildet.

Schweißzusatz, Halbzeuge und Probenherstellung

Anhand der schweißtechnischen Voruntersuchungen wurde für den Gusswerkstoff EN-GJS-400-18-LT

als Schweißzusatzwerkstoff der CastoMag 45640 Ti identifiziert. Die Geometrie der Schweißnut für die Hauptversuchsreihen wurde in Anlehnung an die Schweißnorm DIN EN ISO 15614-3:2008-6 zur Erprobung von Schweißverbindungen mit einem Flankenwinkel von 110 ° definiert und nachfolgend die Gussplatten mit Abmessungen von 1000 x 600 x 150 mm gefertigt.

Aus diesen geschweißten Platten wurden quer und längs zur Schweißnaht Rundproben entnommen. Zur Untersuchung der integralen Werkstoffeigenschaften wurden ebenfalls Proben quer über die Schweißnaht entnommen, um auch alle drei Bereiche - Grundwerkstoff, Wärmeeinflusszone und Schweißgut - abzudecken.

Mit den Proben wurden unter anderem kraft-regelte Untersuchungen mit Wechselbelastung (R = -1) und Schwellbelastung (R = 0) durchgeführt, um die Wöhlerlinien abzuleiten. Anhand der Versuche an den runden Integralproben konnte beobachtet werden, dass das Versagen im höherzyklischen Bereich vorrangig durch Fehlstellen in der Schweißnaht ausgelöst wurde, **Abb. 1**.

Der Gegenüberstellung der Schwingfestigkeitskennwerte zeigt, dass sich das Schweißen insbesondere im höherzyklischen Bereich mindernd auf die Schwingfestigkeit und damit auf die ertragbare Belastbarkeit auswirkt. Neben einer erhöhten Streuung der Versuchsergebnisse durch Fehlstellen in der Schweißverbindung zeigt sich auch eine Reduktion der ertragbaren Nennspannungsamplitude, **Abb. 2**.

Diese Schwingfestigkeitsminderung müsste bei der Planung einer möglichen Reparaturschweißung berücksichtigt werden, um die Zuverlässigkeit der Bauteile nicht zu gefährden. Aufgrund der geringeren Festigkeitseigenschaften eignet sich das Verfahren der Reparaturschweißung daher vornehmlich für gering beanspruchte Werkstoffbereiche bzw. weniger funktionsrelevante Bereich der zu reparierenden Gusskomponenten.

Förderung

Forschungsvorhaben „nodularWELD“ – Identifikation und Optimierung von Schweißparametern zum Reparaturschweißen von Bauteilen aus Gusseisen mit Kugelgraphit mit Einstellung eines definierten Gefüges zur Gewährleistung vergleichbarer statischer und zyklischer Festigkeitskennwerte von Schweißzone, Wärmeeinflusszone und Grundmaterial; Förderkennzeichen 0324273A, BMWK, PtJ

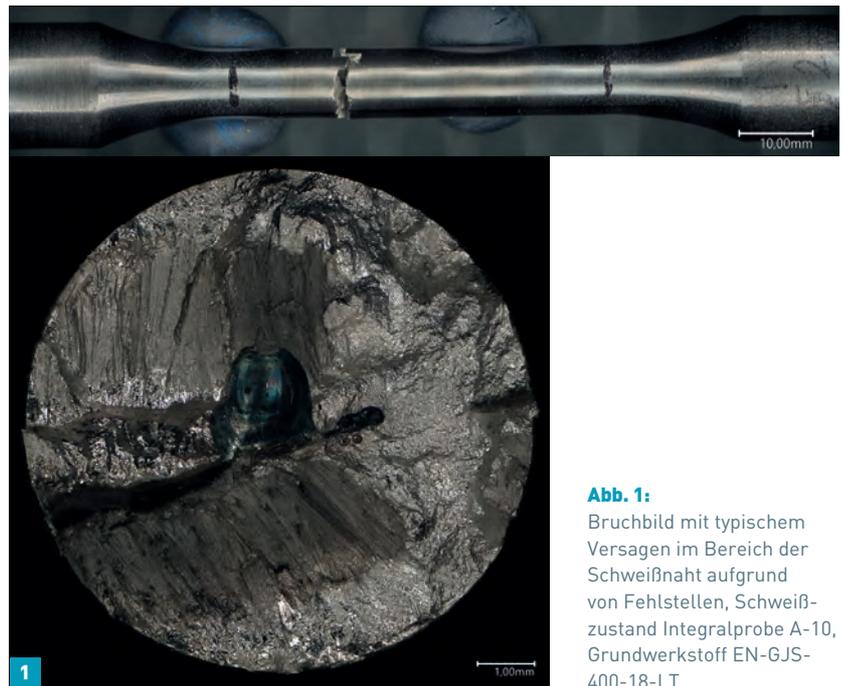


Abb. 1: Bruchbild mit typischem Versagen im Bereich der Schweißnaht aufgrund von Fehlstellen, Schweißzustand Integralprobe A-10, Grundwerkstoff EN-GJS-400-18-LT

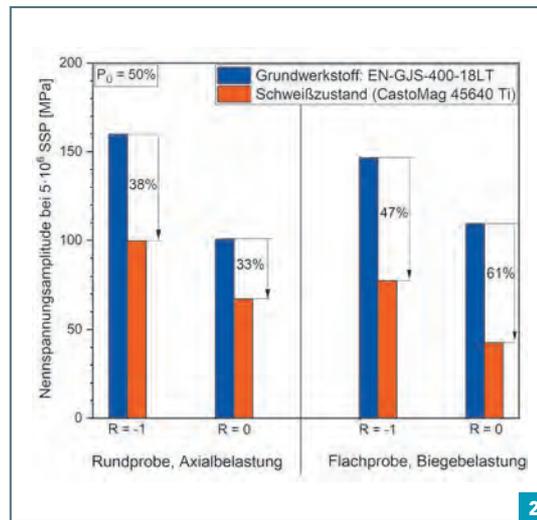


Abb. 2: Gegenüberstellung der Schwingfestigkeitsergebnisse, Basis EN-GJS- 400-18-LT

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

KONTAKT

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR BETRIEBSFESTIGKEIT UND SYSTEMZUVERLÄSSIGKEIT LBF

Dr.-Ing. Steffen Schönborn, Tel.: +49 (0)6151 705-656
 Dr.-Ing. Christoph Bleicher, Tel.: +49 (0)6151 705-8359
www.lbf.fraunhofer.de/guss

TS-MOULDING®: NEUARTIGE FERTIGUNGSTECHNOLOGIE FÜR SANDWICHBAUTEILE IN GROSSERIENANWENDUNGEN

Thomas Gläßer, Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS

Neuartige Leichtbau-Technologien sind für zeitgemäße Mobilität und das Erreichen der Klimaschutzziele unverzichtbar. In Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor sorgen Leichtbau-Lösungen schon heute durch reduziertes Fahrzeuggewicht für weniger Kraftstoffverbrauch und einen geringeren Schadstoffausstoß.

Sandwichverbunde mit endlosfaserverstärkten Kunststoffdecklagen und dazwischen befindlichen Wabekern ermöglichen maximale Leichtbauperformance. Speziell bei der Verwendung in großflächigen Strukturbauteilen lassen sich mit Sandwichverbunden im Vergleich zu monolithischen Materialien deutlich höhere gewichtsspezifische mechanische Eigenschaften erzielen. Leider werden Leichtbausandwichbauweisen aufgrund aufwendiger Herstellungsverfahren bisher vorwiegend in hochpreisigen Anwendungen wie beispielsweise der Luft- und Raumfahrt eingesetzt. In komplexeren Strukturbauteilen in Großserienanwendungen kommen endlosfaserverstärkte Sandwichverbunde hingegen noch nicht zum Einsatz. Das liegt vor allem an fehlenden bzw. nicht ausgereiften Fertigungstechnologien, womit sich derartige Bauteile in kurzen Zykluszeiten vollautomatisiert produzieren lassen.

Hierfür bietet das vom Fraunhofer IMWS entwickelte TS-Moulding® Lösungen. Die patentierte Technologie umfasst im Kern einen neuartigen Thermoformprozess mit dem sich komplexgeformte, endlosfaser-verstärkte Sandwichstrukturen großserienfähig fertigen lassen. Das Thermoformen der

endlosfaserverstärkten, thermoplastischen Sandwichverbunde lässt sich mit Thermoplast-spritzgießen oder Fließpressen kombinieren. In Kombination lassen sich verwertungsfertige Sandwichbauteile auch in Zykluszeiten von ca. einer Minute herstellen. Der Thermoformprozess beinhaltet zwei wesentliche Prozessschritte, die für die Verarbeitung des endlosfaserverstärkten, thermoplastischen Sandwichverbundes notwendig sind. Diese sind das flächige Infrarotstrahlungs- (IR-) Aufheizen eines Sandwichzuschnitts mit einer zwischengeschalteten Abschirmphase und die direkt anschließende dreistufige Formgebung selbst. Die dreistufige Formgebung, die nur wenige Sekunden dauert, unterteilt sich in: Warmformen des Sandwichverbunds, Stabilisierung der warmgeformten Sandwichbereiche sowie das Pressen von Bereichen mit hoher Sandwichdickenreduzierung. Nach der Formgebung wird der Verbund abgekühlt und ist noch im selben Werkzeug z. B. mittels Spritzgießen oder Fließpressen funktionalisierbar.

Die neue Technologie TS-Moulding® bietet Möglichkeiten notwendige Konstruktionswerkstoffe bereits während der Wertschöpfung effizient einzusetzen. Hierbei werden bei der Bauteilfertigung anfallende Verschnittreste ohne zusätzlichen Materialeintrag beim Funktionalisieren der thermogeformten Sandwichstrukturen beim Spritzgießen oder Fließpressen mitverwertet. Somit können neben den für den Leichtbau bekannten Gewichtsvorteil auch die Materialverbräuche während der Produktion deutlich reduziert werden.

Neben dem Vermeiden von Verschnittresten bietet der an moderne Kreislaufwirtschaftsmodelle angelehnte Verwertungsweg von TS-Moulding® den zusätzlichen Vorteil die Sandwichbauteile aus nur

KONTAKT

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR MIKROSTRUKTUR VON WERKSTOFFEN UND SYSTEMEN IMWS

Walter-Hülse-Straße 1, 06120 Halle (Saale)

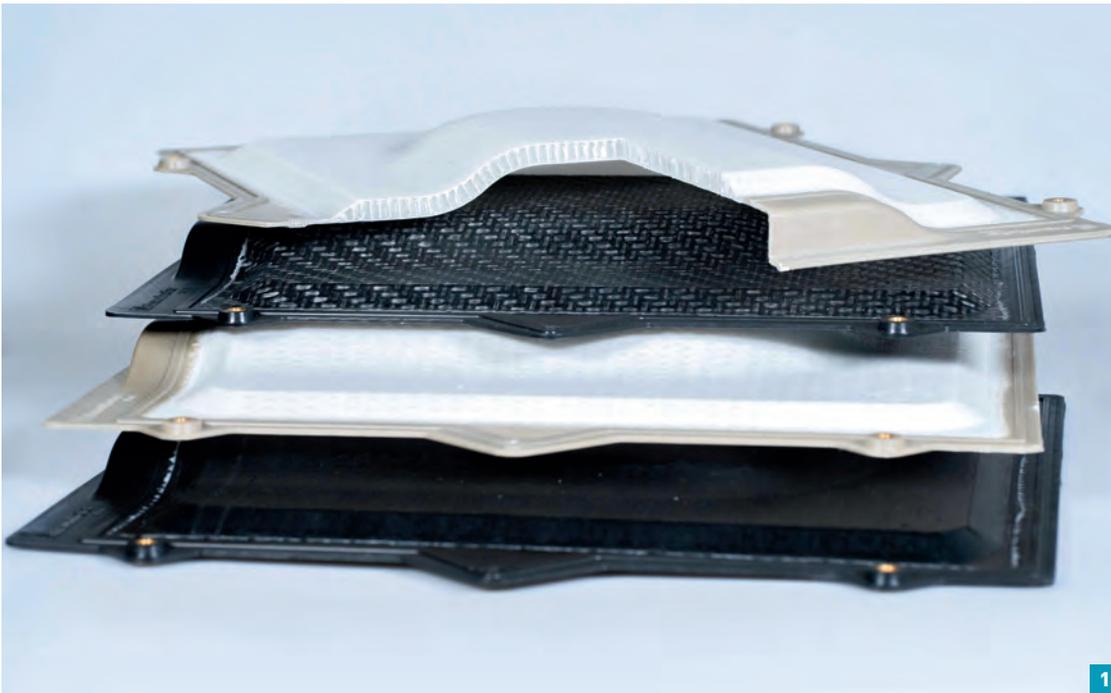
Thomas Gläßer, Gruppe

„Thermoplastbasierte Faserverbund-Bauteile“

Tel.: +49 (0)345 5589-476

thomas.glaesser@imws.fraunhofer.de

www.imws.fraunhofer.de



1

Abb. 1: Im entwickelten Thermoformspritzgussprozess hergestellte Versuchsbauteile aus jeweils verschiedenartigen endlosfaserverstärktem Sandwichverbund. (Foto: Fraunhofer IMWS)

einem einzigen Faserverbund herzustellen. Dies ist ohne zusätzlichen Materialeintrag beim Funktionalisieren der thermogeformten Sandwichstrukturen beim Spritzgießen oder Fließpressen umsetzbar. Somit lassen sich nicht nur Produktionsabfälle während der Wertschöpfung vermeiden, sondern auch die sortenrein hergestellten Bauteile am Ende ihrer Lebensdauer optimal recyceln.

Langfristig lassen sich für den Bereich der Elektrofahrzeuge im Personen- und Güterverkehr mit TS-Moulding® wirtschaftlich und nachhaltige Leichtbaustrukturen realisieren, die für die Energieeffizienz der Fahrzeuge und die damit verbundene Reichweitenerhöhung essenziell sind. Weitere Anwendungspotentiale bietet das neue Verfahren auch im Bereich der Luftfahrtindustrie sowie im Bauwesen.



2

Abb. 2: Die Technologie, inklusive Demonstrator, wurde auf der K Messe, der führenden Business-Plattform für die Kunststoff- und Kautschukindustrie, vorgestellt. (Foto: Holger Jacoby/ Fraunhofer)

IDEALE VERNETZUNGSGRAD BEI SOLAR-MODULEN DURCH OPTIMIERTE QUALITÄTS-KONTROLLE

Dr. Anton Mordvinkin, Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS

Aktuell geben Hersteller von Photovoltaik-Modulen eine Leistungsgarantie von 25 Jahren auf 80 Prozent der Ausgangsleistung. Diese Zuverlässigkeit und Lebensdauer wird nur erreicht, wenn die Verkapselung der Solarzellen perfekt verarbeitet und somit ein Schutz vor äußeren Einflüssen gewährleistet ist. An Stellen, an denen Verkapselungsfolien unzureichend vernetzt sind, kann im Laufe der Zeit Delamination auftreten, was die Lebensdauer des Moduls beeinträchtigt. Eine schwachstellenfreie Verarbeitung gelingt in der Produktion nicht immer, so dass Auffälligkeiten zu Leistungseinbußen eines Solarmoduls führen können. Dies verstößt gegen die Produkt- und Leistungsgarantie, was hohe Modulaustauschkosten nach sich ziehen kann.

Um dies zu verhindern, wird der Solarzellenverbund innerhalb eines Solarmoduls fixiert und möglichst dicht eingeschlossen, um maximalen Schutz zu erreichen. Für diese Verkapselung werden die Solarzellen von zwei Folien aus einem Kunststoff umschlossen. Aktuell wird hauptsächlich Ethyl-Vinyl-Acetat-Copolymer (EVA) zu diesem Zweck verwendet. EVA ist transparent, hat eine kautschukähnliche Flexibilität, gute Reißfestigkeit und Alterungsbeständigkeit sowie gute Isolations- und Barriereeigenschaften. Der Werkstoff kommt in Abhängigkeit seiner Modifikation beispielsweise auch als Verpackungsmaterial im Haushalt, als Granulat in Zahnpasten oder in elastischen Zwischensohlen bei Schuhen zum Einsatz. In der Solarmodul-Produktion werden die beiden EVA-Folien innerhalb eines Laminationsprozesses stufenweise erhitzt, so dass das EVA zuerst schmilzt, in die Hohlräume zwischen den Zellen fließt und diese dadurch

ausfüllt und anschließend vernetzt. So wird eine langzeitige strukturelle Stabilität erlangt. Der Vernetzungsgrad einer Verkapselungsfolie gibt an, wie gut dieser Prozess abgelaufen ist und lässt sich charakterisieren, wobei eine fehlerhafte Lamination die Lebensdauer von Modulen deutlich reduzieren kann.

Aktuell ist in der Industrie zu wenig über den Zusammenhang zwischen der Verkapselungslamination und Modullebensdauer bekannt, insbesondere über die örtliche Verteilung des Vernetzungsgrades. Der Vernetzungsgrad des EVA wird, gemessen an der Wichtigkeit für die Modulzuverlässigkeit, nur ungenügend kontrolliert. Es gibt noch keine industrieweit akzeptierte, zerstörungsfreie Prüftechnologie auf dem Markt. Der einzige Ansatz derzeit ist das X Link-System der Firma LayTec. Hier knüpfen die Partner im drei Jahre laufenden Projekt »EVAplus« an. Das Fraunhofer CSP arbeitet mit der Laytec AG, der Sunset Energietechnik GmbH, der IBC SOLAR AG, der PI Berlin AG und der Hochschule Anhalt zusammen, um die Versorgungssicherheit, Anlagenperformance und Produktivität durch lebensdauerrelevante Untersuchungen der Stabilität der Modulverkapselung von Photovoltaik-Modulen zu erhöhen. Der bestehende Ansatz soll weiter erforscht werden mit dem Ziel einer Qualitätskontrolle der Verkapselung, wodurch eine Reduktion von Verkapselungsauffälligkeiten im Feld um 20 Prozent und eine Steigerung des Produktionsertrags eines Modulherstellers um 2 Prozent angestrebt wird. Letzteres soll durch die Erhöhung

KONTAKT

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR MIKRO-STRUKTUR VON WERKSTOFFEN UND SYSTEMEN IMWS

Walter-Hülse-Straße 1, 06120 Halle (Saale)
Dr. Anton Mordvinkin, Teamleiter
„Polymercharakterisierung und -bewertung“
Gruppe „Materialanalytik“
Tel.: +49 (0)345 5589-5129
anton.mordvinkin@csp.fraunhofer.de
www.imws.fraunhofer.de

der Geschwindigkeit durch optimierte Lamination geschehen.

Das Fraunhofer CSP bringt dabei seine Kompetenzen im Bereich Polymeranalytik und Polymerbewertung ein und bearbeitet Fragen, die zum Verständnis der Materialveränderungen in realistischen Betriebsbedingungen beitragen, untersucht die chemischen und mikromechanischen Materialeigenschaften und modelliert die umweltstressbedingte Alterung von Laminaten ebenso wie die Risikobewertung von Material- und Prozessparametervariationen. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler nutzen Daten von Feldrückläufern sowie Daten aus Klimakammer- und Bewitterungstests an speziell gefertigten Prüfkörpern. Dadurch kann eine zerstörungsfreie Messtechnologie für eine Bestimmung des Vernetzungsgrads und anderer Polymerfolienparameter entwickelt werden, die gleichzeitig einen Industrie-4.0-Ansatz für die feldzuverlässige Lamination darstellt. Dies bedingt jedoch eine ergebnisgesteuerte Lamination anstelle der zurzeit verwendeten zeit- und temperaturgesteuerten Prozessführung. Im Ergebnis sollen bessere Aussagen über den für die Modulzuverlässigkeit idealen Vernetzungsgrad getroffen werden können.



Abb. 1: Am 3D-Vakuumlaminator lassen sich Solarmodule mit gebogenen Formen verarbeiten. Foto: ©Fraunhofer CSP/ Sven Doering

formnext

mesago

07. – 10.11.2023
FRANKFURT/MAIN

formnext.com

Messe Frankfurt Group

Gestalten Sie die Produktion neu!

Die Nachfrage nach immer komplexeren und individuelleren Teilen steigt. Produktzyklen werden kürzer. Bewährte Lieferketten werden infrage gestellt. Nachhaltigkeit spielt eine immer größere Rolle. Die industrielle Produktion wird anspruchsvoller.

Helfen Sie der Industrie, mit Ihren Lösungen für Additive Manufacturing oder Technologien entlang der Prozesskette diese Herausforderungen zu meistern.

Werden Sie Teil der Formnext und der innovativen Produktion.

Where ideas take shape

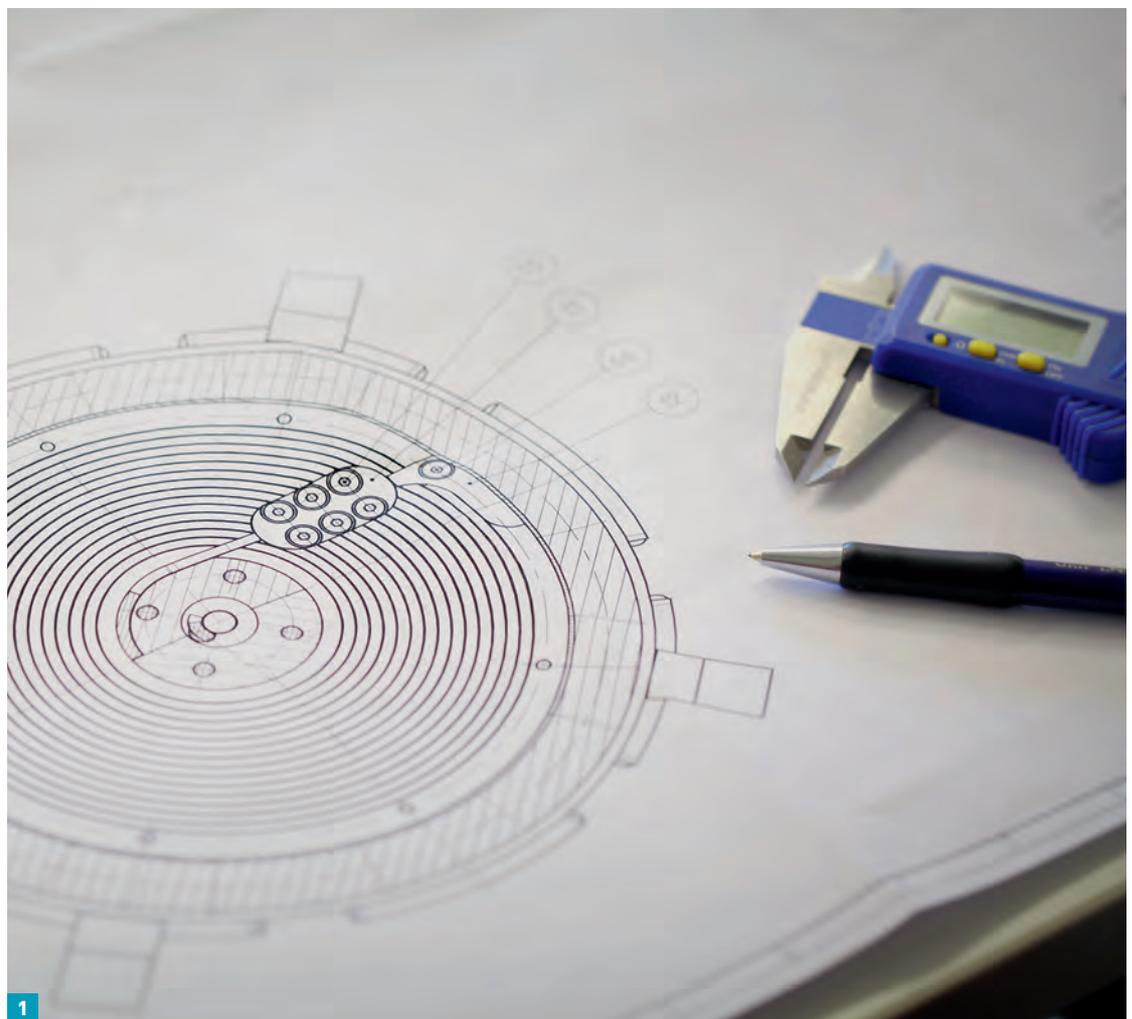
FORSCHUNGLABOR IN DER GRÖSSE EINES FINGERHUTS

Simon Schmitt, Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR)

Mit Magnetfeldern lassen sich Eigenschaften von Materialien gezielt und vor allem kontrolliert beeinflussen. Dabei gilt oft: Je stärker das Magnetfeld, desto detaillierter die Einblicke. Im Hochfeld-Magnetlabor Dresden (HLD), das vom Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR) betrieben wird, jagen Physikerinnen und Physiker starke elektrische Pulse durch Materialproben, um neuartige Nano-Werkstoffe und moderne Supraleiter zu entwickeln. Während der Versuche setzt die derzeit leistungsstärkste Kondensatorbank der Welt für den Bruchteil von Sekunden Energien frei, die eine Diesellok für die Beschleunigung von null auf 150 Kilometer pro Stunde benötigt. Diesen enormen Belastungen halten nur die allerwenigsten Materialien stand. Ingenieure und Wissenschaftler des HZDR haben gemeinsam eine Magnetspule entwickelt, die die Proben in ihrem Innern schützend aufnehmen, ohne bei jedem Durchlauf auseinanderzureißen. Die Bildergeschichte zeigt, wie die winzigen „Forschungslabore“ entstehen.

Abb. 1:

Im ersten Schritt wird die Idee zu Papier gebracht. Bevor die Techniker am HZDR ihre Fräsmaschine oder Flechtanlage anwenden, entstehen die Magnetspulen zunächst ganz klassisch als detaillierte Zeichnung. Das Prinzip: Eine Spule aus Kupfer oder einer hochfesten Kupferlegierung, durch die ein elektrischer Strom fließt, erzeugt das Magnetfeld. Das wiederum wirkt auch auf den elektrischen Strom, also auf die bewegten Ladungen, zurück und versucht, ihn aus der Spule herauszudrücken. Je stärker nun der Strom fließt, umso heftiger wirkt diese Kraft. Reines Kupfer reißt schon bei 25 Tesla, doch die moderne Materialforschung benötigt höhere Felder. Das HLD stellt für interne und externe Wissenschaftler Magnetpulse von bis nahezu 100 Tesla zur Verfügung. Fotos: Amac Garbe



**Abb. 2:**

Entwicklungsingenieur Stefan Findeisen (links) und Experimentalphysiker Dr. Sergei Zherlitsyn erarbeiten am Computer das Design. Das eingespielte Team konstruiert Spulen nicht nur für das eigene Hochfeld-Magnetlabor Dresden (HLD), sondern zum Beispiel auch für die Helmholtz International Beamline for Extreme Fields HIBEF, die das HZDR am europäischen Röntgenlaser European XFEL in der Metropolregion Hamburg aufbaut.

Abb. 3:

In der Werkstatt des HLD umspinnt Franz Sedlak an der Wickelmaschine den Draht, aus dem die Techniker schließlich die Spule wickeln. Durch die Anlage – eine Sonderanfertigung für das Dresdner Helmholtz-Zentrum – zieht er dafür einen Kupferlegierungsdraht, auf dem die Maschine ein Glasfasergemisch und die synthetische Faser Zylon aufbringt. Wie ein Korsett hält diese Spezialfaser den Draht von außen an seinem Platz.

**Abb. 4:**

Während die Wickelmaschine langsam den Draht aus Kupferlegierung aufwickelt, trägt Mirko Krause mit einem Pinsel Harz auf, um die Konstruktion zusätzlich zu festigen. Etwa fünf bis sechs dieser Spezialspulen produzieren die Techniker des HLD auf diese Weise pro Jahr. Für diese Magnetspulen – jede eine Einzelanfertigung – benötigen sie rund zwei Monate.

Abb. 5:

Um die Spule einzufassen und zu isolieren, schneidet Mario Gulich einen Verbund aus Glasfaser und heißgepresstem Epoxidharz an der Fräse zu Endscheiben. Die Stücke verleihen der Spule eine hohe Beständigkeit gegen die extremen Kräfte, die sie während der Experimente aushalten muss.

**Abb. 6:**

Bevor die fertige Magnetspule, die in einem Stahlzylinder eingefasst ist, zum Einsatz kommt, prüfen Oliver Kersten (links) und Dr. Sergei Zherlitsyn, ob das Mittelrohr – die schmale Stelle, an der die Materialproben während der Versuche ihren Platz finden – beim Aufwickeln beschädigt wurde.

Abb. 7:

Am Hochfeld-Magnettlabor baut Elektroniker Karsten Schulz das Produkt der Dresdner Ingenieurskunst in die Grube einer sogenannten Magnetzelle ein. Die Magnetspule soll viele hundert bis tausende Pulse mit einer Länge von 150 Millisekunden und einer Stärke von bis zu 70 Tesla erzeugen.





Abb. 8: Wissenschaftler aus aller Welt, wie zum Beispiel Dr. Tatsuya Yanagisawa (rechts) von der japanischen Hokkaido Universität, erhalten dadurch einzigartige Möglichkeiten für ihre Experimente. Um die Forscher vor Ort bestens zu unterstützen, stehen sogenannte „lokale Kontakte“, wie HLD-Postdoc Dr. Atsuhiko Miyata, bereit.

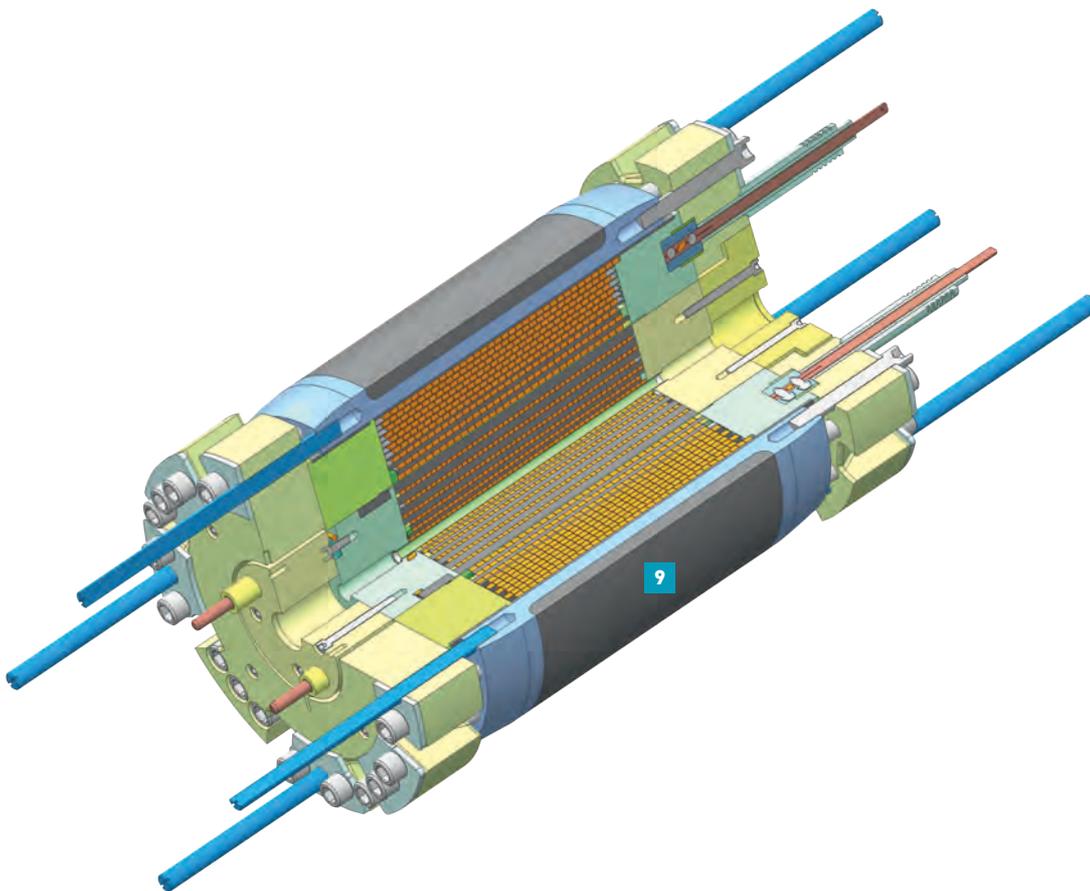


Abb. 9: Das Herzstück aller Versuche am Hochfeld-Magnetlabor Dresden: die eigens am HZDR entwickelte Magnetspule, die in ihrer Mitte das nur rund 20 Millimeter schmale „Forschungslabor“ beherbergt. Nur die starke Zusammenarbeit zwischen Physikern, Ingenieuren und Technikern hat sie möglich gemacht.

KONTAKT

HELMHOLTZ-ZENTRUM DRESDEN-ROSSENDORF (HZDR)

Simon Schmitt (Leitung Kommunikation und Medien)
Bautzner Landstraße 400
D-01328 Dresden
s.schmitt@hzdr.de
www.hzdr.de

ZERSTÖRUNGSFREIE ENTSCHLÜSSELUNG KRISTALLOGRAPHISCHER DATEN VIA XRM

Laborgestützte Röntgenmikroskopie (XRM, engl. X-ray microscopy) ermöglicht Materialwissenschaftlern die zerstörungsfreie Charakterisierung komplexer 3D-Architekturen von Materialien im Submikrometer- bis Nanometerbereich. Die auf maschinellem Lernen basierende Rekonstruktion und Bildanalyse erlaubt die Untersuchung von Materialien unter mechanischer oder thermischer Belastung, die einfache Handhabung komplexer Datensätze und die Erfassung großer Datenmengen.

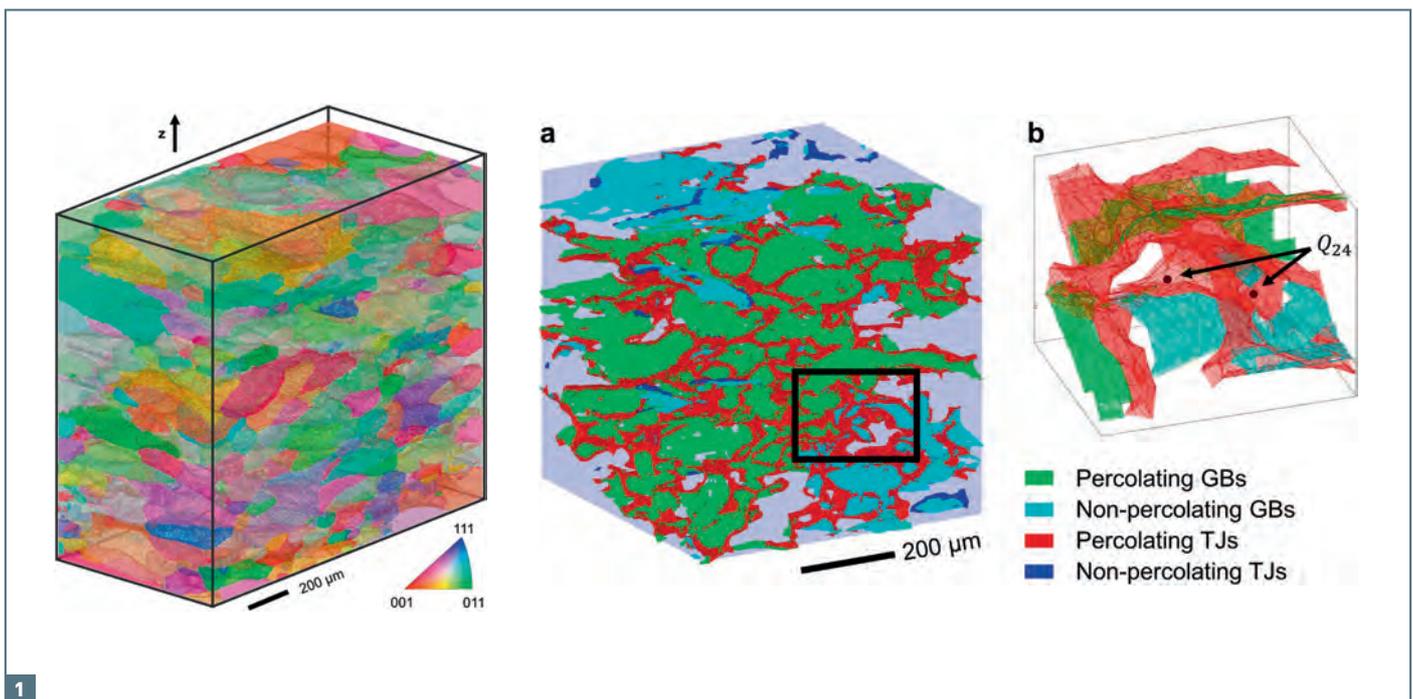


Abb. 1: 3D-Visualisierung von KG- und TJ-Clustern innerhalb eines der größten kubisch geformten Subvolumina bei KG-Perkolation. Grün- und cyanfarbene Flächen stellen die KGs dar, die sich entweder im größten zusammenhängenden Cluster befinden (grün) oder nicht (cyan). Rote und blaue Linien stellen die TJs dar, die sich entweder im größten zusammenhängenden Cluster befinden (rot) oder nicht (blau). Die Abbildung ist aus [1] entnommen.

Röntgenmikroskopie, basiert in erster Linie auf Dichtekontrast, der so genannten Absorptionstomografie, die sehr empfindlich auf Dichteänderungen reagiert und daher Bilder mit hervorragendem Kontrast erzeugt, die die lokale Mikrostruktur zeigen. Eine Herausforderung, die sich daraus ergibt, tritt zu Tage, wenn polykristalline Materialien gescannt werden. Dann werden nur Informationen über die Mikrostruktur von Hohlräumen, Rissen oder über verschiedene Materialphasen erkannt. Die zugrundeliegenden kristallographischen Informationen werden jedoch nicht entschlüsselt, da sich die Dichten im gesamten Material nicht ändern.

Die laborgestützte Beugungskontrasttomographie (ZEISS LabDCT, engl. laboratory based diffraction contrast tomography) an Röntgenmikroskopen er-

möglicht die zerstörungsfreie Entschlüsselung der kristallographischen Informationen polykristalliner Proben, ähnlich wie bei der Absorptionskontrasttomographie, jedoch unter Verwendung des Beugungssignals der Körner, da polychromatische Röntgenstrahlen aus der Quelle mit den Körnern wechselwirken. Die zugrunde liegende kristallographische Mikrostruktur einer Probe kann in 3D visualisiert und analysiert werden. Bisher waren solche Messungen nur mit der Elektronenrückstreuung (EBSD), engl. electron backscatter diffraction möglich, einem zerstörenden 2D-Querschnitt, der typischerweise auf kleinere Probenvolumina beschränkt ist, oder mit zerstörungsfreier Synchrotron Röntgenstrahlung, zu der der Zugang oft beschränkt ist, da es nur eine Handvoll Synchrotron-Standorte auf der Welt gibt.

Zerstörungsfreie Charakterisierung der Perkolation an Korngrenzen

Korngrenzen (KGs) in einem polykristallinen Material bieten um Größenordnungen schnellere Diffusionspfade im Vergleich zum intragranularen Gitter, so dass sich Schäden ansammeln, wenn ein zusammenhängender Pfad von störanfälligen KGs das Material überspannt. Der Rahmen der Perkolationstheorie für Bindungen bietet eine natürliche Beschreibung der Konnektivität und ermöglicht die Analyse des KG-Netzwerks mit „Bindungen“, die die KGs darstellen. Einige Bindungen sind „offen“ (oder störanfällig, hier die zufälligen KGs mit hohem Winkel), während andere „geschlossen“ (oder störungsresistent und immun) sind.

Die experimentellen LabDCT-Ergebnisse helfen bei der Entwicklung von polykristallinen Materialien, die andernfalls aufgrund der Perkolation von Schäden verursachen könnten. In einer neuen Studie wurde die Perkolationstheorie zum ersten Mal zur

Untersuchung von KG-Netzwerken in einer echten, experimentell gewonnenen 3D-Mikrostruktur angewandt [1]. Die Studie wurde durch neue Fortschritte bei der zerstörungsfreien 3D-Charakterisierung mit hohem Durchsatz mittels LabDCT an einer Al-3,5 Gew.-%-Cu-Legierung als Modellsystem ermöglicht. Für die Studie wurden mehr als 10.000 KGs in fast 2.000 im Volumen befindlichen Körnern analysiert. Korngrenzen und Dreifachübergänge wurden analysiert, und es wurde festgestellt, dass die Perkolationsschwelle der Dreifachübergänge (TJ, engl. triple junctions) niedriger ist als die der Korngrenzen. Die aus Studien wie diesen gewonnenen Erkenntnisse helfen bei der Entwicklung versagensresistenter Werkstoffe durch Korngrenzenentwicklung.

Literatur

1. Kang, J., et al. „Percolation of grain boundaries and triple junctions in three-dimensions: A test of theory.“ Acta Materialia 240 (2022): 118316.
<https://doi.org/10.1016/j.actamat.2022.118316>

KONTAKT

**CARL ZEISS
MICROSCOPY GMBH**
Carl-Zeiss-Promenade 10
D-07745 Jena
microscopy@zeiss.com
www.zeiss.de/mikroskopie



FACHKRÄFTEMANGEL

Mit Ihrer Anzeigenschaltung in den Fachpublikationen helfen Sie dem akuten Fachkräftemangel in Deutschland entgegenzuwirken. Weitere Informationen und Publikationen finden Sie online.



ALPHA Informationsgesellschaft mbH

Finkenstraße 10
D-68623 Lampertheim
Tel.: 06206 939-0
magazin@alphapublic.de
www.alphapublic.de



Jahresmagazin **Werkstofftechnik**

Ingenieur
wissenschaften
2023

ISSN 1618-8357
EUR 9,80

Herausgegeben vom Institut für Wissenschaftliche Veröffentlichungen



Anfragen zur kostenfreien Übersendung von
Belegexemplaren oder zwecks redaktioneller Mitarbeit
richten Sie bitte an



Institut für Wissenschaftliche Veröffentlichungen (IWV)

Finkenstraße 10 • D-68623 Lampertheim

www.institut-wv.de

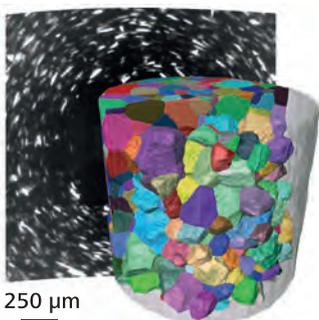
Telefon 06206 939-0 • info@alphapublic.de

Kristallografische Informationen direkt im Labor entschlüsseln.



ZEISS Xradia 620 / 630 Versa mit LabDCT Pro

Erweitern Sie die Möglichkeiten Ihres Xradia Versa Röntgenmikroskops mit LabDCT Pro. Ein Warten auf Synchrotron-Zeit zur Visualisierung von kristallografischen Informationen in 3D und 4D bleibt Ihnen erspart. Visualisieren Sie Kornorientierung und Mikrostruktur direkt in Ihrem Labor und zwar zerstörungsfrei. LabDCT Pro ist Ihr Zugang zu laborgestützter Beugungs-kontrasttomographie für die Charakterisierung von Metallen und polykristallinen Werkstoffen.



250 µm

www.zeiss.com/xradia-versa



Seeing beyond