

Die Forschungsgemeinschaft Feuerfest öffnet ihre Prüfstände für die Industrie

Ein Besuch im Europäischen Feuerfestzentrum – zwischen Wohnstraßen, Werkstattgeruch und Hochtemperaturforschung.

Von außen gibt kaum etwas einen Hinweis darauf, was sich im Inneren verbirgt. Das Europäische Feuerfestzentrum liegt eingebettet in eine Wohngegend, die von der Geschichte der Keramikindustrie durchzogen ist – unscheinbare Straßen, gediegene Fassaden. Wer die Büros im Obergeschoss betritt, findet sich in einer ruhigen, konzentrierten Arbeitsatmosphäre wieder. Nichts deutet darauf hin, was sich einige Etagen tiefer abspielt. Doch im Keller ändert sich das Bild schlagartig. Öfen summen vor sich hin, Prüfstände drängen sich in den Räumen, oft mehrere auf einmal. Es riecht nach Metall und Technik. Dieser Keller ist das Herzstück der Forschungsgemeinschaft Feuerfest e. V. – kurz FGF.

Eine Institution öffnet sich

Die Forschungsgemeinschaft Feuerfest e. V. entwickelt seit Jahrzehnten Prüfmethode für feuerfeste Materialien und bringt Forschungsergebnisse in die Industrie, klassischerweise über Forschungsprojekte, die gemeinsam mit Unternehmen durchgeführt werden.

Das funktioniert gut, hat aber einen strukturellen Nachteil: Solche Projekte dauern in der Regel zwei Jahre, dazu kommt eine Vorlaufzeit. Für akute Probleme, die in der Produktion auftreten, ist das schlicht zu lang.

Seit Anfang des Jahres baut die FGF deshalb einen neuen Bereich auf: ein direktes Dienstleistungsangebot, das Unternehmen ermöglicht, mit konkreten Fragestellungen an die FGF heranzutreten.

Das Modell ist dabei bewusst offen gehalten. Unternehmen müssen nicht wissen, welche Prüfmethode ihr Problem lösen könnte. Sie schildern die Situation, beschreiben das Material, den Einsatzort, die Symptome und die FGF übernimmt die methodische Einordnung. Was sie dabei einbringt, ist jahrzehntelange Erfahrung mit selbst entwickelten Prüfverfahren und die Infrastruktur, die sich im Keller des Zentrums befindet. Ein besonderer Stolz der Einrichtung ist dabei das technische Personal. Die Prüfstände, die im Folgenden vor-

gestellt werden, wurden nicht zugekauft. Sie wurden von den Technikerinnen und Technikern der FGF von Grund auf selbst gebaut.

Station 1: Der Nitridationsofen – Effizientere High-Performance-Werkstoffe für die thermische Abfallverwertung

Der erste Prüfstand, den wir betrachten, ist ein Nitridationsofen. Entwickelt wurde er, um die Herstellungsbedingungen von feuerfesten, nitridgebundenen Siliziumkarbidmaterialien (NSiC) nachzubilden. Diese Materialien finden besonders in Aggregaten der thermischen Abfallverwertung Anwendung und unterliegen dort einer Vielzahl an schädigenden Umgebungseinflüssen.

Das Ziel der Untersuchungen an diesem Ofen ist die Optimierung von Feuerfestmaterialien für genau diese anspruchsvollen Einsatzbedingungen. Besonders in Sondermüllverbrennungsanlagen sind die Anforderungen an das Auskleidungsmaterial enorm: Giftige und hochkorrosive Substanzen dürfen nicht in das Feuerfestmaterial eindringen, die Struktur muss so dicht wie möglich sein, um Infiltration zu verhindern. Um das zu erreichen, werden im Herstellungsprozess für feuerfeste NSiC-Materialien gezielt neue Mineralphasen gebildet. Dieser Prozess muss präzise gesteuert werden. Der Ofen erlaubt Temperaturen bis zu 1.500 °C und kann vollständig unter Stickstoffatmosphäre oder anderen Inertgasatmosphären betrieben werden. Was ihn besonders macht, ist die Kombination mit einer thermogravimetrischen Analyse (TG-Analyse): Die Probe wird auf einem Probenteller platziert, der auf einer integrierten Waage ruht. Während des gesamten Brennvorgangs wird das Gewicht der Probe kontinuierlich erfasst. Jede Gewichtsveränderung ist ein Hinweis auf ablaufende chemische Reaktionen.

Aktuell läuft an diesem Prüfstand ein Forschungsprojekt, das die Rezepturen für Feuerfestmaterialien in Sondermüllverbrennungsanlagen optimieren soll. Dabei geht es nicht nur

um die chemische Zusammensetzung, sondern auch um die Brennkurven, denn wer die stattfindenden Reaktionen bei hohen Temperaturen besser versteht, kann sie auch gezielt steuern und dabei enorme Mengen Energie einsparen.

Station 2: Der CO-TG-Prüfstand – wenn kleine Nester ganze Steine sprengen

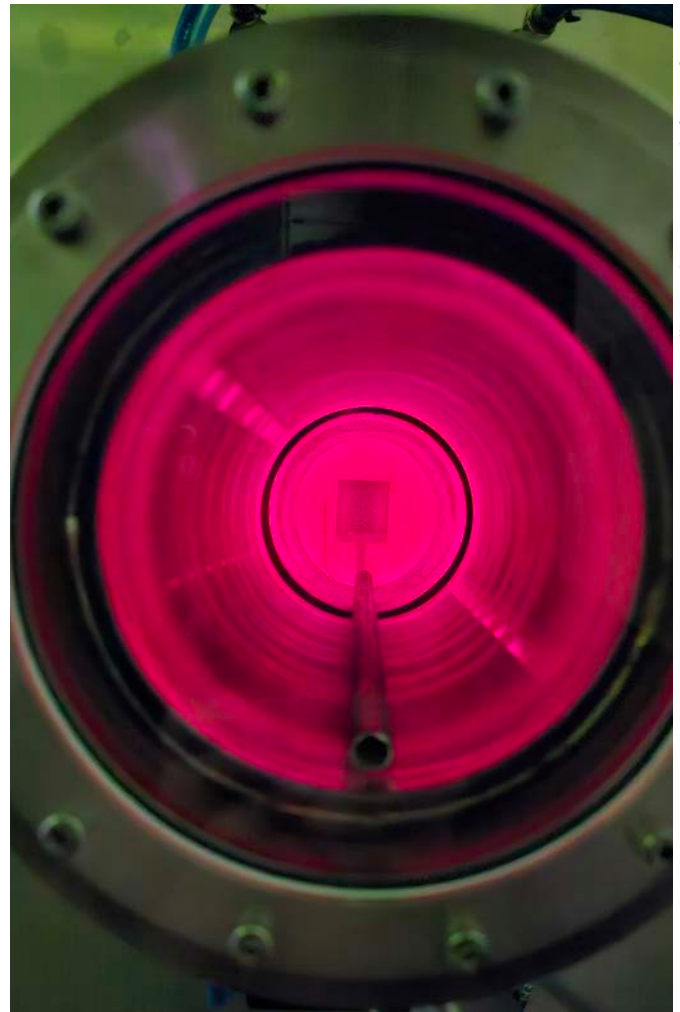
Der CO-TG-Prüfstand der FGF bildet Bedingungen nach, wie sie z. B. in der Roheisen- und Stahlindustrie herrschen: hohe Temperaturen, eine Kohlenmonoxidatmosphäre und eine unangenehme physikalische Konsequenz.

In Aggregaten der Roheisen- oder Stahlerzeugung herrschen entlang der Feuerfestauskleidung starke Temperaturabweichungen: vorne heiß, hinten kalt. In der Übergangszone entstehen dabei bei etwa 500 °C und unter CO-Atmosphäre ideale Bedingungen für die Abscheidung von Kohlenstoff aus der Kohlenstoffmonoxid-Atmosphäre – sofern reduzierbare Eisenverbindungen im Feuerfestmaterial vorliegen. Dieser Kohlenstoff lagert sich an durch die Reduktion vorliegenden Eisenatomen an, bildet Nester und entfaltet dabei eine Sprengkraft, die jedes noch so widerstandsfähige Material zum Bersten bringt.

An einem Bruchstück lässt sich gut erkennen, wie ein solches Nest den Stein von innen gesprengt hat. Am Prüfstand wird zunächst mit Stickstoff der Sauerstoff aus dem System verdrängt. Dann wird bei der richtigen Temperatur Kohlenmonoxid eingeleitet. Eine integrierte Waage zeichnet kontinuierlich auf, wie viel Kohlenstoff sich im Gefüge anreichert. Das Ergebnis: ein direktes, quantifizierbares Maß für die Anfälligkeit eines Materials gegenüber diesem Schadensmechanismus. Bereits heute nutzen Unternehmen diesen Prüfstand, um ihre Produkte zu testen, bevor sie zum Einsatz kommen. Der Grundgedanke ist einfach: Was im Labor schiefgeht, kostet wenig. Was im Stahlwerk schiefgeht, kostet sehr viel mehr.

Station 3: CO-TG mit Wasserstoff – ein Blick in die Zukunft

Direkt daneben steht ein weiterer Prüfstand, der auf den ersten Blick vom Aufbau her identisch wirkt: der CO-H₂-TG-Prüfstand. Das Prinzip ist dasselbe – unter reduzierenden Bedingungen und intermediären Temperaturen wird die Kohlenstoffabscheidung im feuerfesten Gefüge begünstigt, um das Schädigungspotenzial der Materialien beurteilen zu können. Der entscheidende Unterschied: Hier wird zusätzlich Wasserstoff zugeführt. Wasserstoff wirkt im Prozess der Kohlenstoffabscheidung als Beschleuniger und kann somit zu einem deutlich schnelleren Materialversagen führen – oder aber potenzielle Prüfzeiten zur allgemeinen Bestimmung einer CO-Beständigkeit (je nach Materialbeschaffenheit) verringern. Doch dieser Prüfstand hat noch eine weitere Dimension: Er ist explizit auf die Wasserstoffwirtschaft ausgerichtet. Wenn die



Quelle: Forschungsgemeinschaft Feuerfest e. V.

Bild 1: CO-H₂-TG Prüfstand mit einer Probe der FGF

Stahlindustrie künftig auf Wasserstoff als Reduktionsmittel umstellt, müssen die Feuerfestmaterialien diese Atmosphären dauerhaft aushalten. Zusätzlich zur Gewichtsmessung verfügt dieser Prüfstand über Schalldetektoren. Damit lässt sich sogar die zeitliche Abfolge von Rissbildung und verstärkter, zeitabhängiger Kohlenstoffabscheidung rekonstruieren. Außerdem ist durch ein Quarzglas-Sichtfenster die Möglichkeit gegeben, den Zerstörungsprozess mit einer hochauflösenden Kamera zu dokumentieren und so erstmals da zu sehen, was sonst in für uns unsichtbaren Bereichen von Aggregaten in der Industrie geschieht.

Station 4: Der explosionsichere Ofen – wenn Feuerbeton zur Gefahr wird

Feuerbeton ist ein weit verbreitetes Material in der Thermo-prozessindustrie. Was viele nicht wissen: Beim Aufheizen kann er explodieren. Wenn sich im Inneren des Materials Dampfdruck aufbaut, der die Festigkeit des Materials übersteigt, kann das Material schlagartig versagen. Im Labor ist das gefährlich. In der Produktion ist es ein ernsthafter Störfall. Die FGF hat für dieses Problem einen eigenen Prüfstand ent-



Bild 2: MMH-TG -Druck-EX mit einer Probe der FGF im explosionsicheren Käfig

wickelt: einen explosionsicheren Ofen, der das Aufheizverhalten von Feuerbetonen unter kontrollierten Bedingungen untersucht. Im Ofen werden die Feuerbetone in genau dem kritischen Temperaturbereich untersucht, der für das Aufheizverhalten von Feuerbetonen kritisch ist. Im Inneren befindet sich ein explosionsicherer Käfig, in dem die Proben platziert werden. Die Probekörper (im vorgestellten Fall ein gegossener Würfel mit einer Kantenlänge von zehn Zentimetern) werden mit einer eingegossenen Kapillare versehen. Diese Kapillare ist mit einem Drucksensor verbunden und enthält gleichzeitig ein Thermoelement. Während des Aufheizvorgangs lassen sich so sowohl die Temperatur im Inneren des Prüfkörpers als auch der entstehende Dampfdruck simultan und kontinuierlich erfassen.

Warum ist das relevant? Weil Feuerfesthersteller ihren Trocknungs- und Temperprozess aus Sicherheitsgründen heute oft auf das langsamste und empfindlichste Bauteil abstimmen müssen. Das bedeutet: lange Prozesszeiten, hoher Energieverbrauch. Wer das Aufheizverhalten seiner Materialien genau kennt, kann diesen Prozess gezielt optimieren.

Station 5: MMH-TG-Druck-Ex – Methoden im Verbund

Ein weiterer Prüfstand kombiniert mehrere Messmethoden zu einem integrierten System, das intern unter dem Kürzel MMH-TG-Druck-Ex geführt wird. Kern ist die sogenannte Method of Monotonic Heating (MMH), mit der die Temperaturleitfähigkeit eines Materials während eines kontinuierlichen Aufheizvorgangs bestimmt wird. Dafür sind in der Probe mehrere Thermoelemente platziert – eines in der Mitte, weitere an den Rändern. Aus der Temperaturdifferenz und der Aufheizrate lässt sich die Temperaturleitfähigkeit berechnen.

Was diese Methode besonders wertvoll macht: Sie zeigt an, bei welchen Temperaturen neue Mineralphasen entstehen oder Umwandlungen stattfinden. In Kombination mit der Druckmessung und der thermogravimetrisch bestimmten Gewichtsänderung lässt sich zusätzlich verfolgen, wie sich Wasser in der Probe verhält: welcher Dampfdruck sich im Material, aufbaut und bei welchen Temperaturen sich die Freisetzung von Wasserdampf an die Umgebung intensiviert. Ob der entstehende Druck das Material an seine Grenzen bringt, zeigt der integrierte Explosionstest in sicherer Umgebung.

Station 6: Hochtemperatur-Temperaturwechselbeständigkeitstest mit in-situ-Schadensbestimmung – ein Prüfstand im Wiederaufbau

Der letzte Prüfstand, den wir vorstellen, befindet sich gerade im Wiederaufbau – ein kleines Leck hatte den vollständigen Abbau erforderlich gemacht. Doch auch im zerlegten Zustand lässt sich erklären, was dieser Prüfstand leistet, und das Konzept dahinter ist bemerkenswert. Die klassische Methode zur Messung der Temperaturwechselbeständigkeit ist simpel: Material aufheizen, in Wasser oder Luft abschrecken, Schaden bewerten. Das Problem: Der Temperatursprung von maximaler Hitze auf Raumtemperatur entspricht nicht dem, was Feuerfestmaterialien im realen Einsatz erleben. Dort wechseln die Temperaturen typischerweise zwischen zwei hohen Niveaus, etwa zwischen 800 und 1.700 °C.

Genau das bildet dieser Prüfstand nach. Der Ofen besitzt drei Kammern: Eine ist auf eine Basistemperatur eingestellt, etwa 800 °C. Ein integrierter Aufzugsmechanismus transportiert die Probe dann schnell in den oberen Bereich des Ofens, wo eine Induktionsspule sie innerhalb kurzer Zeit auf 1.700 °C



Quelle: Forschungsgemeinschaft Feuerfest e. V.

Bild 3: MMH-TG -Druck-EX mit einer Probe der FGF im explosions-sicheren Käfig

aufheizt. Dieser Zyklus lässt sich beliebig oft wiederholen. Eine dritte Kammer erlaubt bei Bedarf die Abkühlung auf Raumtemperatur. Zur Charakterisierung des Materialzustands ist ein Laser verbaut, dessen Licht über Spiegel in die Probe geleitet wird. Die erzeugten Schwingungen werden von einem Detektor erfasst – und geben Auskunft über den strukturellen Zustand des Materials nach jedem Temperaturzyklus. In einem abgeschlossenen Forschungsprojekt wurde dieser Prüfstand bereits eingesetzt, um zu untersuchen, ob primäre Rohstoffe wie Andalusit durch sekundäre Rohstoffe ersetzt werden können, ohne die Temperaturwechselbeständigkeit zu verschlechtern. Diese Frage gewinnt angesichts von Rohstoffverfügbarkeit und Kreislaufwirtschaft zunehmend an Bedeutung.

Ringversuche: Eine Lücke, die geschlossen werden soll

Die FGF wird künftig nicht nur Prüfdienstleistungen anbieten, sondern auch eine strukturelle Lücke in der Feuerfestbranche schließen. Ringversuche, koordinierte Vergleichsmessungen, bei denen mehrere Laboratorien dasselbe Material mit denselben Methoden prüfen und die Ergebnisse anschließend verglichen werden, sind in vielen Industriezweigen ein etabliertes Instrument zur Qualitätssicherung. In der Feuerfestindustrie hingegen existieren sie bislang nicht flächendeckend. Weder in Deutschland noch weltweit.

Einige große Unternehmen haben intern, solche Vergleiche durchgeführt und die Ergebnisse gelegentlich auch für den Wettbewerb freigegeben. Ein unabhängiges, branchenweites System fehlte jedoch bislang. Genau hier sieht die FGF ihre Rolle. Als gemeinnützige Forschungseinrichtung hat sie keine Wettbewerber im eigentlichen Sinne. Diese Unabhängigkeit ist die Grundvoraussetzung für glaubwürdige Ringversuche.

Das geplante Angebot richtet sich an drei Gruppen: Feuerfesthersteller, Anwenderindustrien sowie Materialprüfinstitute. Der Nutzen ist dabei auf zwei Ebenen angesiedelt. Intern hilft ein Ringversuch einem Labor, die eigene Prüfqualität einzuschätzen: Liegen die eigenen Ergebnisse im Bereich dessen, was andere Teilnehmer ermitteln? Wo gibt es systematische Abweichungen, die auf Fehler in der eigenen Laboreinrichtung hinweisen könnten? Nach außen schafft die Teilnahme an einem anerkannten Ringversuch Vertrauen bei Kunden und bei Zertifizierungsstellen.

Für eine Branche, in der Prüfergebnisse über Materialspezifikationen und letztlich Sicherheit und Wirtschaftlichkeit ganzer Anlagen entscheiden, ist das keine Kleinigkeit.

Fazit: Ein Keller voller Potenzial

Der Besuch im Europäischen Feuerfestzentrum hinterlässt einen nachhaltigen Eindruck, wegen der Dichte an technischem Know-how, die sich auf vergleichsweise engem Raum versammelt hat. Prüfstände, die in dieser Form weltweit selten oder gar nicht zu finden sind, wurden hier von einem eingespielten Technikteam konstruiert und werden kontinuierlich weiterentwickelt. Jahrzehntlang aufgebaute Expertise und Infrastruktur werden nun für Unternehmen zugänglich gemacht, die konkrete Probleme haben und schnelle, fundierte Antworten brauchen. Dazu kommt das Vorhaben, mit unabhängigen Ringversuchen eine strukturelle Lücke in der Branche zu schließen.

Unternehmen, die Interesse an den Prüfdienstleistungen oder den geplanten Ringversuchen haben, können die FGF unter service@fg-feuerfest.de erreichen oder die Homepage der Einrichtung besuchen.