

HoTempLa – Neues Transportsystem auf Basis von Hochtemperaturlagern zum energieeffizienteren Brennen von Ziegeleiprodukten im Tunnelofen

Forschungsprojekt der Forschungsgemeinschaft der Ziegelindustrie e.V. (FGZ)

Projektnummer	IGF 21761 BG/1
Projektförderer	BMWi über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) Institut für Ziegelforschung Essen e.V. (IZF)
Durchführung	Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (OvGU) Institut für Strömungstechnik und Thermodynamik Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS)

Hintergrund und Problemstellung

Das Brennen von Ziegeln im Tunnelofen ist der energieintensivste Schritt im Herstellungsprozess der Ziegelindustrie. Seit dem Einsatz von Tunnelöfen wurden und werden viele Maßnahmen zur Verbesserung des thermischen Wirkungsgrads und zur Verringerung des CO₂-Ausstoßes durchgeführt. Die Umstellung von Kohle auf Erdgas hat nicht nur den thermischen Wirkungsgrad des Tunnelofens verbessert, sondern auch den CO₂- Ausstoß verringert.

Die Masse des Tunnelofenwagens ist ein in der Industrie bekannter Faktor, der den Energiebedarf wesentlich beeinflusst. Um die Ausfahrverluste und damit den Energiebedarf zu senken, wurde im Rahmen dieses Vorhabens geprüft, inwieweit der Ofenwagen durch eine Trägerplatte ersetzt werden kann, wenn entsprechende Hochtemperaturlager zur Verfügung stehen würden.

Durchführung und Ergebnisse

Die Hochtemperaturlager bleiben im Tunnelofen stationär und die Trägerplatte wird mit dem Besatz durch den Tunnelofen geschoben. Die Trägerplatte hat eine geringere Dicke als der herkömmliche Tunnelofenwagen und würde damit zur Verringerung des Energiebedarfes führen. Der erste Schritt ist die Entwicklung von Hochtemperaturlagern, für die das IKTS ein Siliziumnitridmaterial ausgewählt und eine Geometrie für die Transportrolle und den Lagerbock entwickelt hat. Die Geometrie wurde nach der Durchführung stationärer und dynamischer Simulationen mit FEA-Software erstellt. Die gefertigten Rollen wurden getestet, bei denen sie Temperaturen, einer Gasatmosphäre und Belastung ausgesetzt wurden, die denen des Tunnelofens ähneln. Die Standfestigkeit der Lager konnte unter Beweis gestellt werden, die Rolleigenschaften waren noch nicht optimal. Es konnte nachgewiesen werden, dass die verwendeten Materialien den mechanischen Beanspruchungen bei hohen Temperaturen standhalten. Die erwarteten Rolleigenschaften im Lager wurden dagegen nur eingeschränkt erreicht. Hier ist eine Änderung der Konstruktion und Erweiterung der Materialauswahl zu treffen, um die Rolleigenschaften zu verbessern und ein für den wirtschaftlichen Einsatz in Tunnelöfen verfügbares alternatives Transportsystem zur Verfügung zu stellen. Zusammenfassend lässt sich festhalten:

- Prinzipielle tribologische Untersuchungen an Siliziumnitridkeramiken im Labormaßstab bei 640°C zeigten, dass der Verschleiß in einem mit zusätzlich TiN verstärkten Siliziumnitridwerkstoff deutlich niedriger ist. Vermutlich führt die thermisch induzierte Bildung von TiO_x zu verringertem Verschleiß.
- Simulation: durch die Verwendung von Ersatzkräften (quasistatischer Ansatz), der Vereinfachung der Modellgeometrie und der Erhöhung der lokalen Vernetzungsdichte, konnte eine

Geometrieparameterstudie für die Projektfragestellung effizient ermöglicht werden. Die Rechenzeit für die angestrebte Studie über 81 Designvarianten wurde signifikant verringert.

- Die Simulationen führten zu einer Konstruktion des Lagers und des Lagerbocks, dass eine prinzipielle Funktion (Drehen des Lagers im Lagerbock) sicherstellte. Auch nach den Versuchen lief das Lager ohne Verschiebungen im Lagerbock.
- Bei dem stationären Belastungstest wurden keine physikalischen Verformungen und kein Bruch des Lagers und des Lagerbocks beobachtet. Auch die zeitgleiche Belastung mit verschiedenen Gasen, die für den Tunnelofenprozess typisch sind, führten zu keiner Schädigung von Lager und Lagerbock. Diese Ergebnisse zeigen, dass sowohl die verwendete Siliziumnitridkeramik als auch das Design für die mechanische Belastung geeignet ist.
- Nach dem Belastungstest, bei dem die Lager und die Böcke im Temperaturbereich von 800 °C – 900 °C betrieben wurden, zeigte sich ein gleichmäßiger Verschleiß. Dieser gleichmäßige Verschleiß zeigt, dass sich die Lager vollständig und ungehindert im Bock drehen konnten und stellt dessen wichtigste Funktionseigenschaft dar.
 - Im Rahmen der EDX-Untersuchung des Abriebs wurden hauptsächlich Elemente aus der Keramik (Si, O, Y, Al) nachgewiesen.
 - Die simulierte Temperatur der Trägerplatte zeigt, dass die Temperatur an der Unterseite der Trägerplatte mehr als 800 °C bzw. 400 °C erreichen kann, wenn die Wärmeleitfähigkeit 1,5 W/m·K bzw. 0,1 W/m·K beträgt.
 - Die Simulation des Tunnelofenprozesses zur Herstellung der Ziegel und Dachziegel mit gleich dicken Trägerplatten mit einer Wärmeleitfähigkeit von 1,5 W/m·K und 0,1 W/m·K zeigte den hohen Einfluss der Wärmeleitfähigkeit der Trägerplatte auf den Energiebedarf.
 - Für die Ziegel- und Dachziegelproduktion wurde der Fall simuliert, bei dem die Trägerplatte oben auf den bestehenden Ofenwagen montiert wird. In der Brennzone des Tunnelofens wird die zu erwartende Temperatur an der Unterseite des Tunnelofenwagens mehr als 500 °C betragen. Der Grund dafür ist der stationäre Zustand des Ofenwagens im Tunnelofen, wenn die Trägerplatte oben auf dem Ofenwagen montiert ist und der Ofenwagen im Tunnelofen verbleibt, der die Trägerplatte stützt. Die Temperatur von mehr als 500 °C für den unteren Teil führt zu Verformungen am Stahlrahmen des Tunnelofenwagens. Dem ist durch einen entsprechenden Aufbau entgegenzuwirken.
 - Die Fälle mit einer geringeren Höhe des Besatzes, um die Masse des Besatzes auf der Trägerplatte zu verringern, zeigten bei gleicher Produktionsrate einen Anstieg des Energiebedarfs. Der Hauptgrund ist die Verfügbarkeit der Fläche für den Wärmeübergang zwischen der Ware und dem Gas bei gleicher Produktionsrate

Es handelt sich um ein Forschungsprojekt der Forschungsgemeinschaft der Ziegelindustrie e.V. (FGZ), das vom Institut für Ziegelforschung Essen e.V., von der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (OvGU), Institut für Strömungstechnik und Thermodynamik und vom Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS) durchgeführt wurde. Das IGF-Vorhaben 21761 BG/1 der Forschungsvereinigung Ziegelindustrie wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Das Ziel des Forschungsvorhabens wurde teilweise erreicht.

Der 83 Seiten lange Schlussbericht kann bei der Forschungsgemeinschaft der Ziegelindustrie e.V. in Berlin angefordert werden.