

Fasergestricke aus Glasfilamentgarnen für die Abgasreinigung bei Kleinemittenten

Eigenschaften und Biokompatibilität

Doctoral Thesis

Author(s):

Oser, Michael Paul

Publication date:

1998

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-001984894>

Rights / license:

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

Diss. ETH Nr. 12654

**Fasergestricke aus Glasfilamentgarnen
für die Abgasreinigung bei Kleinemittenten:
Eigenschaften und Biokompatibilität**

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

MICHAEL PAUL OSER

Dipl. Masch.-Ing. ETH
geboren am 26. September 1967
von Basel

Prof. Dr. E. Wintermantel, Referent
Prof. Dr. M. Eberle, Korreferent

Zürich 1998

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit hat die Untersuchung von Fasergestriicken aus Glasfilamentgarnen für die Abgasreinigung zum Inhalt. Es wurden verschiedene Untersuchungsmethoden dieser Gestricke entwickelt, welche speziell auf die Anwendung der Abgasreinigung ausgerichtet sind, wobei der Begriff Abgas hier als Sammelbegriff für Abgas und Abluft zu verstehen ist. Das Interesse gilt dem Einfluss von Gestrickstruktur und Gestrickwerkstoff auf die Effizienz der Abgasreinigung sowie auf die vom Gestrick selbst stammenden Emissionen, den sog. Sekundäremissionen des Abgasreinigungssystems und deren Bedeutung für die Biokompatibilität des Werkstoffs.

Die in einem speziellen Rundstrickverfahren, der Konträrtechnik, hergestellten Gestricke werden durch Plissierung direkt auf eine Filterkerze aufgebracht, d.h. das Gestrick wird gefaltet und kompaktiert. Speziell an diesem System zur Abgasreinigung ist, dass durch katalytische Beschichtung der Gestricke diese gleichzeitig als Filter und Katalysator eingesetzt werden können. Als Filter weist diese Neuentwicklung im Partikelgrößenbereich unter 40 nm Filtrationsraten von 99.9% auf. Dieses neue Verfahren bietet besondere Vorteile für Kleinemittenten (z.B. stationäre und instationäre Verbrennungsmotoren, Lösungsmittelmittlere chemische Anlagen).

Strukturuntersuchungen haben gezeigt, dass im plissierten Gestrick sehr unterschiedliche Porengrößen vorhanden sind, was zu unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten führt und sich somit positiv auf die Abgasreinigung auswirkt. Zudem wurde sichtbar, dass sich gering gedrehte Garne durch die Faltung öffnen, so dass die ganze Filamentoberfläche für Filtration, Adsorption und Katalyse zur Verfügung stehen. Mit Festigkeitsuntersuchungen an Garnen in Anlehnung an die Situation im Gestrick konnten verschiedene Kriterien für den Garnaufbau abgeleitet werden. Bei Zerrüttungsversuchen mit 10 Mio. Lastspielen konnten keine Ermüdungsphänomene am Gestrick festgestellt werden. Weiter wurde gezeigt, dass die gewünschte Porosität von 60 bis 70% für die Filtration und 80% für die Katalyse ohne Garnversagen erreicht werden kann. Die Betrachtung des Setzverhaltens des Gestrickes hat zum konstruktiven Schluss geführt, dass die Gestricksetzung in axialer Filterkerzenrichtung von 3 bis 5% durch ein elastisches Element aufgenommen werden sollte, um Leckagen zu

verhindern. Gestrickfilter mit katalytisch unterstützter Regeneration wurden an einem Dieselmotorprüfstand eingesetzt. Es wurden sowohl die den Filter passierenden Abgaspartikel wie auch die Sekundäremissionen in Form von Glaspartikeln entsprechend ihrer Lungengängigkeit fraktioniert. Dabei wurde gezeigt, dass die während der Gestrickherstellung entstandenen Glasbruchstücke bei der ersten Inbetriebnahme ausgeblasen werden und dass im Betrieb kaum mehr Filamentversagen auftreten.

Zur Beurteilung der Emissionen von Glaspartikeln aus Glasfilamentgarnen wurde untersucht, welche Bruchstückgeometrieverteilungen beim Versagen dieser Garne unter kombinierter Versagensbelastung entstehen können. Diese Untersuchung ist im Hinblick auf alle technischen Anwendungen mit Glasfilamenten von Bedeutung. Es wurde gezeigt, dass beim Versagen von Glasfilamentgarnen nicht nur Bruchstücke mit vollständigem Filamentdurchmesser, sondern durch Rissverzweigungen auch wesentlich kleinere Bruchstücke entstehen. Die aufgrund ihrer geometrischen Abmessungen alveolengängigen kleineren Bruchstücke haben aufgrund von Oberflächenkräften eine starke Tendenz, an grösseren Bruchstücken zu haften. Bruchstücke mit Faserstaub-Geometrie, welche möglicherweise ein kanzerogenes Potential haben könnten, sind unter den verwendeten Versuchsbedingungen nur selten entstanden. Die Gründe dafür sind, dass die Glasfilamente Durchmesser über 3 μm aufweisen und sie wegen ihrer amorphen Struktur nicht spleissen, d.h. nicht bevorzugt Risse in Filamentlängsrichtung bilden.

Abstract

The goal of this study was the investigation of knitted glass fibers to be applied as filters and catalysts support structures for hydrocarbon and aerosol loaded emissions. Knitted fabric based filters have the characteristic of a deep bed filter element exhibiting filtration efficiencies of 99.9% for particles with aerodynamic diameters smaller than 40 nm. The combination of these filtration characteristics with the possibility of catalytic activation makes knitted fabric based filters particularly interesting for small industrial emitters as well as off road and on road engines. The filter elements were made from glass filament yarns which were knitted in a circular knitting technique and subsequently arranged on a filter tube by plating.

Different investigation methods for these knitted fabric based filter structures were developed which aimed at application oriented characterization regarding materials, yarn and fabric behavior, e.g. structure of the filter elements, strength and failure as well as long term stability. Secondary emissions from the filter consisting in filament failure induced particles were of particular interest because according to MAK regulations these particles have to be considered as hazardous if they fit into specific geometries. Additionally, biocompatibility aspects of these secondary emissions were envisaged using in vitro test methods, e.g. cell cultures. The influence of catalytic coating methods on filter structure, mechanical behavior and secondary emissions was investigated. Furthermore, different yarn pre-treatment methods were evaluated aiming at the optimization of high temperature stability and catalytic activity.

Structural investigations showed that - in the pleated knitted fabrics - a broad range of pore sizes can be made available, which lead to different flow rates, and thus, are considered to positively affect gas cleaning efficiency. Low twisted yarns turned out to be advantageous because the entire filament surface is exposed and therefore available for filtration, adsorption and catalysis. Among various fabric related mechanical test methods, the interlaced loop tensile test of the yarn turned out to be suited to select the yarn materials and to characterize the influence of yarn structure on strength. The mechanical long-term stability was investigated in a specifically developed fatigue test. After 10 million load cycles no fatigue phenomena in the knitted fabric based filter elements could be detected. It was shown that porosities from 60 to 70% for filtration and 80% for

catalysis could be maintained. However, the fabrics showed a defined settling behavior which has to be compensated by elastic elements in the filter setup in order to prevent leakage. Knitted fabric based filters were applied for filtration and catalytically supported regeneration on a diesel engine. The emissions, soot and secondary emissions from the filter, were fractionated according to their respirability. It could be shown that the emission of glass fragments is very low. However, new filter elements exhibited a single burst release of particles which has to be attributed to the manufacturing process of the filter elements.

In a knot tensile test, the geometric distribution of fragments after failure of the glass filament yarn was analyzed with regard to the occurrence of particles which have to be classified as fiber dust (according to MAK). It was shown that by the failure of glass filament yarns two types of fragments occurred: fragments with complete filament diameter and substantially smaller fragments which tend to adhere to the larger fragments. Fragments with fiber dust geometry, which could eventually indicate a carcinogenic potential, were rarely found under the used test conditions. This is due to the glass filament diameter being considerably above $3\ \mu\text{m}$ and the amorphous structure of the filament which prevented the filaments from failing due to longitudinal splitting as it is typically observed in asbestos fibers. These findings are not restricted to filament based filter structures, they should be considered for any glass fiber related applications where potential emissions of glass fiber particles could be expected.