

Abstract zur Veröffentlichung des Beitrages zum Thür. Werkstofftag v. 19.03.2014:

Werkstoffqualifizierung und Entwicklung von Komponenten für 25.000 bar Autofrettageanlagen

Markus Wedemeyer, Abteilungsleiter F&E, Maximator GmbH Nordhausen,
MWedemeyer@maximator.de

Dr.-Ing. Stefan Linne, Abteilungsleiter Werkstoffe und Bauteile, MFPA Weimar,
stefan.linne@mfpa.de

Dr.-Ing. Ralf Koppert, Abteilungsleiter F&E, Siegert Thinfilm Technology GmbH Hermsdorf,
Ralf.koppert@siegert-tft.de

Das gemeinsamen EFRE-Verbundprojekt erreicht mit 25.000 bar Autofrettagedruck einen Meilenstein in der hydraulischen Hochdrucktechnik. Die Autofrettage ist ein Verfahren um Bauteile mit hohen schwellenden Innendrucklasten in der Dauerfestigkeit und damit in der Lebensdauer zu steigern. Mittels einer einmaligen hydraulischen Überlast lassen sich Eigenspannungen im Bauteilquerschnitt durch Teilplastizierung aufbauen. Die Druckeigenspannungen an der Bauteilinnenseite führen zum Stillstand von Anrissen.

Die hohen Autofrettagedrücke sind nötig für die Einspritzsysteme von Dieselmotoren mit angestrebten Betriebsdrucksteigerungen auf 3.000 bar. Relevante Serienbauteile sind dabei Einspritzpumpen, Düsen, Hochdruckleitungen und die Common-Rails. Die Serienautofrettagemaschinen in der Produktion arbeiten künftig mit 12.000 bar und die Prüfmaschinen für Lebensdaueruntersuchungen an den Serienbauteilen müssen dauerhaft 7.500 bar Druck erreichen. Diese Schlüsselforderungen können mit 22.500 bar Autofrettagedruck für die Anlagenteile umgesetzt werden.

Die Autofrettage birgt mehrfachen wirtschaftlichen Nutzen. Bei gleichbleibendem Druck kann die Wandstärke eines Bauteiles verringert, kostengünstigerer Werkstoff verwendet oder die Lebensdauer erhöht werden. Der Betriebsdruck eines Bauteiles lässt sich steigern. Eine Nachbearbeitung der anrissgefährdeten Bauteilinnenoberflächen kann eventuell entfallen.

Der Höchstdruck kann mit Druckübersetzern erreicht werden. Das Problem bei der Höchstdruckautofrettage ist die Ausleitung des Hochdruckmediums aus der Anlage in ein angeschlossenes Bauteil. Typischerweise wird für die Druckweiterleitung ein Rohr verwendet. Der elastische Grenzdruck eines dickwandigen Rohres entwickelt sich nichtlinear gegen einen Grenzwert. Trotz zunehmenden Außendurchmesser und abnehmenden Innendurchmesser ist eine Laststeigerung über einen Grenzdruck unmöglich. Für ein Stahlrohr mit einer angenommenen hohen Streckgrenze von 2.000 MPa ergibt sich dieser elastische Grenzdruck zu unter 12.000 bar.

Die maximal aufnehmbare Last (Kurzzeitgrenzlast) eines Rohres liegt dann vor, wenn der Querschnitt vollständig durchplastiziert ist. Der zugehörige plastische Grenzdruck lässt sich in Abhängigkeit der Streckgrenze und der geometrischen Durchmesserhältnisse angeben. Für den erreichten Höchstdruck von 25.000 bar (2.500 MPa Oberflächenspannung) kann für ein Durchmesser Verhältnis des Rohres von 3:1 gezeigt werden, dass 2.000 MPa Streckgrenze im Rohrwerkstoff erforderlich sind, um der Last kurzzeitig zu widerstehen. Deshalb sind für diese Anwendungen die besten verfügbaren Stähle notwendig.

An der MFPA Weimar werden eine Vielzahl von Einsatz-, Vergütungs- und aushärtbaren Stählen in verschiedenen Werkstoffzuständen und zyklischen Belastungsverhältnissen untersucht, um eine geeignete Auswahl für die Anwendung in der Höchstdruckautofrettage zu erhalten.

Siegert TFT stellt Metalldrucksensoren mit Dünnschicht-DMS her. Übliche CrNi-Funktionsschichten erreichen Ausgangssignale von 2 mV/V. Neuentwickelte NiC-Funktionsschichten kommen dagegen auf 30 mV/V und sind bei kleinen Dehnungen der mit DMS applizierten Oberfläche wesentlich sensitiver. Der Sensor kann dadurch steifer und robuster ausgelegt werden. Das EFRE-Verbundprojekt bringt zwei Sensorkonzepte für die Hochdruckmessung hervor. Ein Rohrsensor aus einem Stahlhohlkörper misst über die Oberflächendehnung an der Außenfläche des Grundkörpers den innen anliegenden Hochdruck. Ein zweites Konzept basiert auf einem Keramikstopfen, dessen kleine Stirnfläche direkt durch das Medium druckbeaufschlagt wird. Die Stirnfläche ist mit einer drucksensitiven NiC-Funktionsschicht versehen und durch den Stopfen durchkontaktiert. Der keramische Rohling konnte höchstdrucktauglich gefertigt werden. Eine Auswertung von gemessenem Hochdruck konnte bisher bis 4000 bar erbracht werden.

Die Probleme bei der Umsetzung des Rohrsensors mit unvermeidbaren Rissen am Grund des Sackloches und die schwierige DMS-Strukturierung beim verwendeten unedlen hochfesten Stahl werden aufgezeigt.

Die Rohrsensoren liefern bis 21.500 bar Messwerte. Für einen linearen Signalverlauf ist es erforderlich den Sensorrohling einmalig mit einer statischen hydraulischen Überlast zu beaufschlagen.

Das erfolgreich abgeschlossene Forschungsprojekt der drei Partner bildet die Basis für weiterführende Forschungsarbeiten, die auf den vorliegenden Erkenntnissen und den verfügbaren Höchstdruckautofrettageanlagen bei Maximator in Nordhausen und der MFPA Weimar aufbauen.