

Tesista: Federico Rueda

Ingeniero en Materiales, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata

Título al que aspira: Doctor en Ciencia de Materiales, UNMdP

Tema: "Colapso por pandeo inducido por presión externa en 'liners' de polietileno de alta densidad"

Director de tesis: Dra. Patricia Frontini

Co-director: Dr. José Luis Otegui

Lugar de Trabajo: Facultad de Ingeniería, UNMdP

Fecha de Defensa: 30 de marzo de 2016

Jurados:

Dra. Rita TOSCANO (UBA)

Dr. Alfredo HUESPE (UN del Litoral)

Dr. Adrian CISILINO (UNMDP-CDS)

Resumen

En general, las tuberías de protección interna o 'liners' se utilizan en dos aplicaciones ingenieriles: como método de protección anti-corrosión o para la rehabilitación de oleoductos dañados. A las altas presiones y temperaturas de operación, los polímeros disuelven los gases (CH_4 y CO_2) que vienen disueltos en el crudo o en el gas. Los mismos permean irremediablemente a través de la pared termoplástica, alcanzando el equilibrio entre la presión interna del caño y la presión anular. En estas condiciones, luego de una despresurización el 'liner' se ve sometido a esfuerzos generados por un exceso de presión en la cavidad anular que pueden producir su colapso.

El objetivo de esta tesis es generar herramientas con capacidad predictiva para el estudio del colapso por presión externa de 'liners' de polietileno. Para tal fin, se utilizó análisis por elementos finitos (FEA) en conjunto con un modelo constitutivo viscoplástico avanzado. Los resultados, fueron verificados mediante ensayos de colapso físicos a escala laboratorio.

Se exploraron distintas alternativas para plantear el modelo por elementos finitos. La no linealidad del problema presenta dificultades con un control por carga tradicional. Si bien los métodos de longitud de arco permiten resolver este problema, no resultan adecuados para modelos constitutivos dependientes del tiempo. Se propuso entonces la utilización de elementos hidrostáticos de fluido, que permitieron abordar la no linealidad del colapso y a su vez utilizar ecuaciones constitutivas dependientes del tiempo.

Como modelo constitutivo, se propuso la utilización del 'Three Network Model' (TNM), desarrollado por Bergstrom para reproducir el comportamiento mecánico de materiales semicristalinos como el polietileno de alta densidad (HDPE). Los parámetros constitutivos del TNM se ajustaron a partir de ensayos de tracción y compresión en diferentes condiciones de velocidad y temperatura.

Se realizaron ensayos de compresión de secciones transversales de tuberías de Polietileno de Alta Densidad. (HDPE) a diferentes velocidades de sollicitación. Los resultados de este

ensayo, que involucra estados tensionales similares a los involucrados en el colapso por pandeo, permitieron verificar preliminarmente las predicciones del modelo FEA. El modelo se utilizó entonces en una primera instancia para realizar un análisis paramétrico del colapso por pandeo bajo diferentes velocidades de sollicitación.

Por otra parte, se diseñó y construyó un equipo de ensayos para reproducir el colapso por pandeo a escala laboratorio a diferentes temperaturas. A partir de los ensayos, se obtuvieron datos experimentales que permitieron verificar definitivamente la simulación numérica. Se realizó entonces un análisis paramétrico a partir del modelo FEA verificado para estudiar la dependencia del colapso con la temperatura. Los resultados de este análisis, permitieron derivar ecuaciones analíticas predictivas que consideran la temperatura y el comportamiento no lineal del HDPE.

Por último, se realizó un breve análisis de los efectos de los hidrocarburos sobre las propiedades mecánicas de un 'liner' de HDPE fallado en servicio. Se efectuaron ensayos mecánicos de rutina para evaluar su deterioro y se ajustó el modelo TNM para el material envejecido. A partir de este nuevo ajuste del modelo constitutivo, se realizaron simulaciones que permitieron evaluar los efectos del deterioro en las propiedades del material sobre el comportamiento en el colapso por pandeo.

Abstract

Nowadays the use of polymers in the gas and oil transportation industry is widely spread. One of their main uses is as lining materials for oil and gas pipelines. These liners serve the function of providing internal protection of metallic tubes mainly in two different situations: i) providing enhanced corrosion resistance from aggressive chemical agents and ii) rehabilitating lining damaged pipelines. At high temperature and high pressure operation conditions, polymers permeate the CO₂ and CH₄ gases that are dissolved in oil. These gases permeate through the wall of the thermoplastic material, to balance the internal pressure of the pipe with that of the outer annulus or gap between the liner and the pipe wall. Permeation rate increases with the swelling severity of the liner material; this is a relevant in-service degradation mechanism when the liner is in contact with hydrocarbons. According to these considerations, after a depressurization event liners are subjected to stresses generated by excessive pressure on the annular cavity. This can lead to the collapse of the liner by radial buckling.

The main objective of this work is to provide predictive tools for the understanding of the external pressure buckling collapse phenomenon in polyethylene liners. To accomplish this, finite element analysis (FEA) with an advanced viscoplastic constitutive model was employed. Numerical results were verified by physical buckling collapse tests.

The non-linear characteristics of the problem generate convergence issues that make it difficult for classical FEM approach to reproduce the actual behavior of experimental curves. Therefore different alternatives were explored. The arc-length method has been previously used for similar simulations. In this work, a nonconventional approach to FEA, which makes use of hydrostatic elements, has been employed. This approach has the inherent advantage of allowing the use of time-dependent material constitutive models.

An advanced constitutive model, namely the Three Network Model (TNM) was employed. For its pertinence regarding semi-crystalline thermoplastic polymers, the TNM model results in a suitable choice for modeling the mechanical response of polyethylene liners. In order to determine the input parameters for the model, a series of tensile and compressive uniaxial

tests were conducted at different temperatures and strain rates. The suitability of the model for this particular application was assessed by contrasting the simulation and the experimental results of a diametral compression test.

An in-house device to perform short-term physical collapse buckling tests on polyethylene liners was designed and constructed. This test method allows to emulate in-service behavior under controlled conditions. Thus, tests were performed to explore the effect of temperature on the buckling parameters of a polyethylene pipe confined in a steel host pipe. Full 3D FEA simulations of the collapse buckling tests were conducted and validated against experimental data. Once the 3D full FE model was verified a simplified 2D model was implemented to perform an intensive parametric study considering a wide range of temperatures and pipe aspect ratios. With data arising from this parametric study, a predictive Glock's type function was derived, which takes into account the effect of temperature and the viscoplastic constitutive behavior of polyethylene.

Finally, a brief analysis of the hydrocarbons effect on the mechanical properties of polyethylene was performed. An in-service collapsed liner was used to perform mechanical tests in order to evaluate the amount of ageing and to calibrate the TNM model. This new calibration allowed to conduct simulations in order to compare the aged liner collapse behaviour with the unaged one.