

JUNTA ROSCADA CON ALTA RESISTENCIA COMBINADA A LA COMPRESIÓN Y LA CARGA PARA OLEODUCTOS EN CAMPOS DE PETRÓLEO

El grupo de invenciones pertenece a las juntas roscadas para tubos encamisados en acero y tuberías, con un sello metal con metal destinado a asegurar la pared del pozo completado para petróleo, gas, producción de condensado de gas o inyección de fluidos de perforación en formaciones del suelo.

Los consumidores (productores de gas y petróleo) y los fabricantes (compañías de tuberías) le pusieron de nombre a este tipo de juntas roscadas juntas Premium. Estas juntas roscadas son muy herméticas y extremadamente confiables bajo cargas combinadas repetidas que resultan de la operación de las tuberías en los pozos. Al mismo tiempo, las tuberías y las juntas roscadas son sometidas a altos requerimientos de confiabilidad operacional, por ejemplo:

- En pozos direccionales (radiales), las tuberías son continuamente dobladas, lo cual resulta en tensiones por doblez aumentadas en el cuerpo y la junta roscada;
- La tubería soporta presión de fluido marginal interna y externa (agua subterránea y formaciones de petróleo bajo alta presión) o estructuras geológicas móviles, cargas compresivas axiales sobre el cuerpo de la tubería y la junta roscada cuando están en funcionamiento, así como una combinación de estas y otras cargas;
- Operación de la tubería en múltiples ciclos de compresión-tensión, tal como una estimulación cíclica con vapor.

La complejidad de procesamiento de los campos en desarrollo está constantemente en aumento y, consecuentemente, las condiciones para la construcción y operación de tuberías en los pozos se hace más rigurosa. Por lo tanto, los requerimientos para las juntas roscadas Premium se están haciendo más variados y más rigurosos y, con el incremento gradual en la demanda para

tales tuberías, es crucial asegurar su calidad y confiabilidad estable, reducir su costo y asegurar la posibilidad de producción en masa.

La mayoría de las invenciones en este campo están dirigidas a juntas roscadas para asegurar la resistencia estructural de los tubos y el margen necesario de hermeticidad en tensiones alternantes seriales y estáticas que corresponden a entre el 80 y el 100% del límite von Mises equivalente de tensión a lo largo del cuerpo del tubo, y para permitirle a las juntas roscadas desensamblarse de la tubería con la posibilidad de reutilizarse.

Las juntas roscadas más comunes de los años 80 y 90 proporcionaban 100% de eficiencia en la presión interna y la tensión, pero tenían una baja resistencia a la compresión y resistencia a la presión externa. Las razones para esta baja resistencia a la compresión son ciertas restricciones de diseño, a saber: el espesor de la sección final, el denominado hombro, que contiene el sello metal a metal, no excede el 50 al 60% del espesor de la pared del tubo. En este caso, cuando la fuerza de compresión es aplicada a la junta roscada, esta es casi en su totalidad transferida a la superficie de extremo del hombro arriba mencionado, lo cual conlleva a deformaciones plásticas, desplazamiento del morro del pasador al eje del tubo y a la apertura del sello de metal con metal (o sea, pérdida de la hermeticidad).

La razón para la baja resistencia a la presión externa (exterior) es la baja rigidez radial del pasador en el lugar del sello, puesto que esto lleva a una baja resistencia a la compresión del morro del pasador bajo presión externa. Cuando el fluido externo penetra a través de los espacios en la rosca entre la rosca y el sello, la presión de contacto disminuye debido a la compresión del pasador, y, con el aumento adicional en la presión externa, el sello no puede prevenir que penetre el fluido exterior.

El análisis de los datos de la literatura científica y técnica y las investigaciones de los autores mismos demuestran que la hermeticidad de la junta roscada a la presión externa y la resistencia a la compresión pueden incrementarse aumentando el espesor del pasador. Con este propósito, una pequeña sección de extremo del tubo es a veces reducida (rodada) antes de

cortar la tubería, o sea el diámetro del extremo del tubo es reducido. incluso una pequeña reducción en el diámetro interno del tubo es suficiente para incrementar el espesor del morro. Además, tal reducción no complica de manera adicional la operación del tubo (no interfiere con las operaciones del proceso necesarias dentro de tubo cuando se desarrollan las paredes), y también en caso de la tubería, no reduce significativamente el barreno dejando los parámetros hidrodinámicos de movimiento del fluido bombeado sin cambios.

esta descripción emplea términos específicos para este arte, tanto en el diseño como en la fabricación de las juntas roscadas selladas metal con metal. Por ejemplo, cuando se hace un sello con un arco en la sección (del radio), este elemento (miembro femenino o masculino) tendrá una superficie toroidal en el sólido de revolución. sin embargo, nos referiremos a tal elemento como una “bola”. los autores proponen el uso de los siguientes términos en la divulgación adicional de su invención:

- el término “superficie toroidal” donde es necesario explicar las características geométricas, propiedades y comportamiento de un elemento dado;
- El término “bola” donde es necesario describir la operación (acción) de este elemento.

Tal uso doble de este término es similar al uso simultáneo de los términos “sello de extremo” y “hombro” en patentes individuales y la literatura técnica sobre juntas roscadas bajo consideración, lo que aún le permite a los especialistas en el arte entender a qué se está haciendo referencia.

El análisis de los problemas existentes conducido por los autores ha hecho posible identificar algunos de los más significativos entre ellos, los cuales, de acuerdo con los autores, deben trabajar en conjunto para asegurar un resultado técnico:

- Asegurar la operabilidad del morro de la junta roscada bajo diferentes cargas combinadas sin perder la habilidad importante – hermeticidad;
- Asegurar suficiente capacidad de soporte de carga de la junta roscada (o sea, la habilidad de la rosca para soportar las cargas de diseño bajo tensión y

compresión) sin perder sus propiedades durante múltiples operaciones de enroscado y desenroscado;

- Asegurar la operabilidad del morro de la junta roscada bajo cargas cíclicas compresivas y de tensión sin cambios críticos en la geometría de las superficies de contacto.

Por ejemplo, un método para incrementar la resistencia a la presión externa y a la compresión de una conexión Premium incrementando la rigidez radial del pasador en la ubicación del sello y el incremento acompañante del tamaño radial en la cara de parada se describe en la publicación WO 2004/109173 (también publicada como EA 008078). De acuerdo con esta invención, el sello se ubica cerca de la porción roscada, y hay un hombro entre el sello y la cara de extremo. Tiene una forma tal que hay un espacio entre la superficie exterior y una caja formada por la caja de barrenado. Para estimar la rigidez radial, puede asumirse que es proporcional al área de sección transversal de la tubería que descansa en la superficie de contacto. Un hombro con más grosor permite incrementar esta área, y el barrenado de la caja permite diseñar un hombro con una forma que asegura la máxima superficie de contacto de la cara de extremo. Al mismo tiempo, los autores de dicha solución técnica en el documento de patente WO 2004/109173 (EA008078) muestran que, incluso con un hombro más grueso, la aplicación simultánea de una fuerza de compresión grande y presión externa puede llevar a la despresurización.

Los autores de las soluciones técnicas descritas en DE4446806 y WO 2009/060729 (también publicada como EA017155) o, por ejemplo, US8882157 y WO 2012/003645, apuntan hacia la deformación desigual del hombro más largo cuando la junta roscada es expuesta a un exceso de torque durante el enroscado o a una alta fuerza de compresión como causa de la despresurización de la junta roscada tipo Premium (en particular en la invención WO 2004/109173). A partir de fuentes disponibles públicamente sobre este problema, se sabe que la junta roscada contiene una parada axial (sello final – hombro), el plano de la cual se ubica en un ángulo inverso (reverso) al plano perpendicular del eje de la junta, luego durante el ensamblaje de la junta una fuerza radial actúa sobre el hombro

del pasador. Esta fuerza puede causar una precompresión adicional de la superficie sellante del pasador contra la superficie sellante apareada de la caja, lo cual mejora el sello. Sin embargo, si hay una gran distancia entre el sello y la parada axial (hombro), es necesario considerar la posibilidad de que el morro del pasador se doble elásticamente en la zona de no-contacto entre el sello y el hombro. En este caso, una deformación compleja del morro puede causar que la presión de contacto en el sello se eleve o caiga, dependiendo del diseño específico del morro.

Para superar este fenómeno, las soluciones técnicas de acuerdo con las patentes DE4446806 y WO 2009/060729 introducen un empalme hermético entre el sello principal y la cara de extremo debido al hecho que los miembros macho están hechos con una superficie curva adicional. Un sello auxiliar (formado por el contacto entre superficies curvas y ahusadas) limita el movimiento del morro del pasador hacia fuera y también asegura el centrado y la estabilización del sello principal bajo cargas combinadas. Sin embargo, en ambos diseños considerados, el sello auxiliar solo tiene la función de centrar y estabilizar la junta, ya que hay combinaciones de cargas en las cuales puede aparecer una brecha entre las superficies de asiento exterior e interior en el sello dado y el ajuste hermético analizado deja de actuar como un sello.

Para mantener la hermeticidad de la junta roscada bajo cualquier carga, la solución técnica de acuerdo con la patente DE4446806 intenta resolver el problema de mantener la hermeticidad y la operabilidad de la junta roscada incrementando la tensión – o sea, el traslapado geométrico entre las superficies del miembro masculino interior (por ejemplo, el tubo) y el miembro hembra exterior (por ejemplo, la caja). Los autores de DE4446806 proponen colocar el sello adicional cerca del extremo del pasador y proporcionar hacer el valor de la tensión radial de este sello mínimo 1.15 veces y máximo 1.3 veces mayor que la atención del sello principal. Esto es para asegurar la suficiente presión de contacto en el sello auxiliar a una presión de contacto moderada sobre el sello principal. Sin embargo, puesto que la rigidez radial cerca de la cara extremo es significativamente menor que la rigidez radial bajo el sello principal, la presión de

contacto en el sello protector es insuficiente para un número de cargas para garantizar la hermeticidad. Además, una tensión extensiva el sello protector auxiliar puede “apagarlo” bajo la acción secuencial de una combinación de carga compresiva alta con presión externa y la combinación de tensión con presión interna debido a la deformación plástica directamente en el extremo del pasador - o sea, este protector auxiliar ya no realiza su papel si la compresión plástica del pasador bajo este sello protector resulta en una brecha para al menos una de las combinaciones de carga, el sello protector no realizará un papel de centrado y estabilización para esta combinación de cargas. También, el documento de patente DE4446806 recomienda que se fijen largas distancias desde el hombro hasta la sección protectora, desde la sección protectora a la superficie sellante y desde la superficie sellante a la rosca, con la sección de extremó siendo lo suficientemente larga como para que sea posible conseguir la alta resistencia a la compresión debido al pequeño tamaño radial de la cara de extremó.

En la publicación WO 2009/060729 (también publicada como EA017155), La función protectora es llevada a cabo por un hombro radial-axial adicional (ángulo de inclinación de 5 a 30° al eje de la junta, de +60 a +85° en relación con el plano perpendicular al eje de la junta) adyacente a la superficie del hombro principal con un ángulo invertido. La función diamétrica para superficies de los hombros adicionales es máximo 1.1 de la tensión del sello principal y preferiblemente igual aquella del sello principal. Cuando se escoge tal tensión, no hay contacto en el hombro adicional en el estado de ensamblaje forzado. Cuando se ensambla la junta, debido a la interacción del pasador y la caja en el sello principal, la totalidad de la porción de extremo del pasador, incluyendo la superficie de los hombros adicionales en el pasador, se inclinará hacia adentro (encogiéndose en diámetro) por una cantidad mayor que o igual a la tensión el sello principal, de tal forma que no ocurrirá ningún contacto entre las superficies de los hombros adicionales en el pasador y la caja. Sin embargo, las cargas combinadas permitirían este contacto debido a la disposición especial de la superficie de los hombros adicionales del pasador y la caja. La ocurrencia del contacto asegura que la deformación radial hacia fuera del morro del extremo del

pasador es limitada. Esto elimina el efecto negativo causado por la combadura del morro bajo las cargas compresivas o el torque de construcción excesivo como el que resulta en una presión de contacto más baja en el sello principal. El sistema conformado por hombro principal y los hombros adicionales funciona como una conexión de una lengüeta y una ranura, fijando con rigidez la posición radial del pasador relativa a la caja. Sin embargo, en este caso, la junta roscada tiene requerimientos adicionales para precisión, caracterizando la proporción de tensión del sello principal y el hombro adicional, lo cual incrementa el costo de producir la junta e incrementa el rango requerido y la precisión del control. Además, cuando se aplica presión externa a una junta tal, en la cual el pasador y la caja están comprimidos juntos, la fijación demasiado rígida del morro del pasador en el acople puede llevar a una compresión plástica del morro del pasador, lo cual a su vez puede llevar a una pérdida en la hermeticidad de la junta cuando se aplica una fuerza de compresión y una presión externa grandes durante la subsiguiente aplicación combinada de tensión y presión interna. Una situación similar puede suceder con una acción de combadura y una combinación de tensión y presión interna, en donde la junta permanece hermética bajo la acción de combadura, pero pierde su hermeticidad cuando se remueven la acción de combadura y la tensión extensiva combinadas con una presión interna excesiva.

Las soluciones técnicas anteriores de acuerdo con las descripciones de las patentes DE4446806 y WO 2009/060729 (también publicada como EA017155) Son los equivalentes más cercanos a la solución técnica propuesta. La patente DE4446806 maneja una combinación de dos tipos de sellos de bola y cono, mientras que el sello más cercano a la cara de extremo puede perder su hermeticidad debido a deformaciones plásticas bajo la acción cíclica de combinaciones opuestas de carga. La solución WO 2009/060729 describe una combinación de un sello y un hombro adicional, pero indica la posibilidad de utilizar una bola u otra superficie curva como uno de los sellos de las superficies de contacto y una bola u otra superficie curva como uno de los hombros adicionales de las superficies de contacto a manera de características opcionales, adicionales o de sustitución.

En ambas soluciones, la mejora de las propiedades sellantes de un sello roscado al lado en un morro con una rigidez radial alta se logra introduciendo un ajuste de fuerza adicional entre el sello principal y el hombro, lo cual limita el movimiento radial del morro del pasador hacia fuera a un diámetro más grande. En el caso de la invención DE4446806, el elemento dado en una condición de ensamblaje forzado está apretado en exceso, y en el caso de la invención WO 2009/060729, el elemento dado en una condición de ensamblaje forzado de la junta no está apretado lo suficiente. Aquí “apretado en exceso” significa que la presión de contacto en el elemento protector resulta en una compresión radial aumentada del morro del pasador y una descarga fuerte en el sello principal, “no apretado lo suficiente” significa que la tensión en el sello principal en la condición de ensamblaje forzado causa una caída marcada en la presión de contacto en el ajuste de fuerza adicional, hasta el desarrollo de una brecha.

Como resultado de ello, las juntas roscadas tanto bajo la patente DE4446806 y bajo la publicación WO 2009/060729 Pueden tener características de hermeticidad insuficientes para ciclos de alta compresión y alta presión exterior / alta tensión y alta presión interna. “Extensivo” significa marginal: Hasta 5% menos del desempeño declarado para este tipo de carga: la prueba de hermeticidad para las fugas para presión interna/externa alternantes, combinado con 100% de cargas de compresión y tensión se incluye ahora en el procedimiento de prueba de la calificación de la ISO 13679 (o API 5C5) para juntas roscadas serie “A” y se hace referencia al mismo como “ciclos Q1-Q3”, o sea, aplicación alternante de cargas límite desde el primero y tercer cuadrantes del ciclo VME para juntas roscadas.

Basado en lo anterior, debe concluirse que varios investigadores han intentado crear una unidad sellante para una junta roscada Premium, la cual incluye dos sellos metal a metal. Sin embargo, en las soluciones técnicas conocidas el segundo sello adicional juega un papel auxiliar y no asegurar la hermeticidad en la totalidad del rango de las cargas operativas.

Diseñar una unidad sellante con dos sellos metal a metal, en la cual ambos sellos permanecen herméticos bajo todas las combinaciones posibles de cargas,

permite mejorar la hermeticidad e incrementar la confiabilidad de las juntas roscadas de clase Premium.

La máxima hermeticidad posible significa que la junta hace el mejor uso de la rigidez radial creada por el morro del pasador. De hecho, hay un cierto nivel de compresión del morro, más allá del cual las deformaciones dejan de ser elásticas. En concordancia, hay una máxima hermeticidad que puede lograrse para un diseño de morro dado. Sin embargo, la máxima hermeticidad no puede lograrse físicamente debido a una compresión desigual del morro. Las características más altas corresponden al nivel máximo permisible en el área de deformación elástica del morro del pasador.

La confiabilidad mejorada significa que la junta ya garantiza la hermeticidad en el área inferior de la tensión radial elástica permisible en la unidad de sellado, esto es, la junta, la cual se encuentra sometida a una baja tensión por el sello, reteniendo la hermeticidad para cargas combinadas altas repetitivas. Un aumento adicional en la tensión radial mientras se mantiene la operación del material del tubo y la caja en el área elástica incrementa el margen de hermeticidad y la confiabilidad de la junta.

Por lo tanto, el grupo de invenciones propuesto - versiones de juntas roscadas clase Premium para tubos de acero - resuelve un problema técnico de garantizar la máxima hermeticidad posible e incrementar la confiabilidad bajo un amplio rango de cargas operativas, incluyendo cargas de combado, compresivas, combinadas y cíclicas, y resulta en la preservación de sus características de desempeño después de repetidas operaciones de ensamblaje y desarmado.

La solución técnica de acuerdo con la patente DE4446806 se escogió como un prototipo para dos invenciones del grupo.

La esencia de la primera versión es como sigue.

Una junta roscada para tuberías de campos de petróleo contiene un miembro macho con una rosca macho ahusada y un miembro hembra con una rosca hembra ahusada, donde el miembro macho tiene una sección de extremo que contiene una superficie sellante radial y una sección de cara con una superficie de hombro, y el miembro hembra tiene una superficie sellante radial y

una superficie de hombro, en donde cuando la junta roscada se hace por fuerza, la superficie sellantes entran en contacto hermético con una retención radial y al menos una parte de la superficie del hombro del miembro macho está en contacto con el hombro del miembro hembra. De acuerdo con la invención, la superficie sellante radial del miembro macho tiene dos superficies toroidales dispuestas consecutivamente las cuales, cuando están en contacto axial con los hombros forman, junto con una superficie sellante aparejada de un miembro hembra, dos sellos con tensiones radiales d1 y d2 respectivamente, tal que la relación empírica

$1,0 < \frac{R1 \cdot d1^3}{R2 \cdot d2^3} < 2,0$ es verdadera, en donde R1 y R2 son los radios del arco circular

de las superficies toroidales en sección transversal a lo largo del eje del tubo con un valor numérico de al menos 10 mm, con hombros hechos con un ángulo de pendiente que no excede los 20° a una normal al eje del tubo, y la superficie sellante de un miembro hembra contiene una porción con un ahusado de 1:6 a una superficie cilíndrica.

Algunos aspectos preferidos de esta invención:

- Los radios R1 y R2 de las superficies sellantes toroidales yacen en el rango de 20 a 80 mm; el tamaño axial de las superficies sellantes toroidales es de al menos 3 mm y preferiblemente yace en el rango de 4 a 8 mm;
- El tubo está pre comprimido diametralmente a lo largo de toda su longitud sin exceder 50 mm desde el extremo del tubo dado con la formación de una porción con un ahusado, igual a o mayor que aquel de una rosca, y la reducción del diámetro interno del tubo no excede los 3 mm;
- el espesor de la sección de extremo del miembro macho que contiene la superficie sellante es 60 - 80% del espesor de la pared del miembro tubular macho;
- la distancia desde el plano de sello de extremo al centro del primer círculo es de 2 a 5 mm y la distancia desde el plano del sello de extremo al centro del segundo círculo es de 7 a 12 mm;
- la superficie sellante apareada del miembro hembra está constituida de varias áreas conjugadas toroidales y ahusadas, de tal forma que las diferentes áreas ahusadas del miembro hembra, con un ahusado diferente o coincidente

desde menos de 1:6 a la superficie cilíndrica, corresponden a las áreas toroidales en el miembro macho;

- las tensiones radiales d_1 y d_2 , las cuales satisfacen la relación $1,0 < \frac{R_1 \cdot d_1^3}{R_2 \cdot d_2^3} < 2,0$, se seleccionan de manera tal que las tensiones circunferenciales en la sección de extremo del miembro macho que contiene la superficie sellante son 60-100% del límite elástico del material del miembro macho;
- el torque para la construcción de la junta roscada es tal que, al ensamblarse la junta, los esfuerzos axiales en la sección de extremo del miembro macho que contiene la superficie sellante son de 50 a 80% del límite elástico del material del miembro macho.

La esencia de la segunda versión es la siguiente.

La junta roscada para tuberías de campos de petróleo que contiene un miembro macho con una rosca macho ahusada y un miembro macho con una rosca hembra ahusada, donde el miembro macho tiene una sección de extremó que contiene una superficie sellante radial y una sección de cara con una superficie de hombro, y el miembro hembra tiene una superficie sellante radial y una superficie de hombro, en donde cuando la junta roscada se hace a la fuerza, las superficies sellantes entran en contacto estrecho con una tensión radial y al menos una parte de la superficie de hombro del miembro macho está en contacto axial con el hombro del miembro hembra. En este caso, la superficie sellante radial del miembro macho consiste de 2 superficies toroidales dispuestas consecutivamente con un perfil de arco circular en sección transversal a lo largo del eje del tubo, lo cual forma, junto con la superficie sellante ahusada apareada del miembro hembra, dos sellos del tipo bola y cono; la distancia desde el plano del sello de extremó al centro del primer círculo es de 2 a 10 mm, y los radios del arco del círculo y la distancia entre los centros de estos círculos se selecciona de tal manera que cuando la junta roscada está completamente construida y la junta es doblada a un ángulo de al menos $13^\circ/10\text{ m}$, así como también con una presión de fluido interno de hasta 100% del límite elástico del material del producto, el

contacto se mantiene en la primera y segunda secciones del sello de tipo de bola y cono.

El resultado técnico especificado se logra debido al hecho que los tubos para completar el pozo o para la producción de hidrocarburos se fabrican con una junta roscada cónica que contiene un roscado de un cierto perfil, en una parada interna que después del ensamblaje de la junta forma un sello de extremó, así como también superficie sellantes interna y externa, mientras que los parámetros de los sellos (los radios de las porciones toroidales, las cantidades de tensión, la ubicación relativa al sello de extremó) se relacionan unos con otros.

La relación entre los parámetros de los sellos se termina basándose en el hecho que después del ensamblaje de la junta roscada, los esfuerzos circunferenciales en el morro del miembro macho tienen un valor bien definido, y el nivel de esfuerzo de contacto en los sellos puede asegurar la hermeticidad (operabilidad) de la junta roscada en las condiciones operativas más extremas.

El resultado técnico requerido se logra en las dos diferentes versiones asegurando la relación entre los parámetros de los sellos de bola y cono; es ya sea la imposición de restricciones sobre la relación entre las características de los sellos (los radios de las porciones toroidales, las cantidades de tensión, la ubicación relativa al sello de extremo), o la combinación de características de la disposición de sellos de bola y cono en el diseño después del ensamblaje con los parámetros que determinan el desempeño de la junta roscada bajo diferentes casos de cargas.

El grupo de inversiones propuesto para patentamiento se explica mediante los dibujos.

Las Figuras 1 – 11 Muestran una junta roscada para series de cajas y tubos, elementos estructurales individuales de una junta roscada, y varios diseños especiales.

La figura 1 muestra esquemáticamente una vista isométrica y de sección parcial de una junta roscada.

La figura 2 muestra esquemáticamente una vista de planta de una junta roscada.

La figura 3 muestra esquemáticamente una sección longitudinal de una parte de un miembro macho (pasador).

La figura 4 muestra esquemáticamente una sección longitudinal de una parte de un miembro de acople hembra (caja).

La figura 5 muestra esquemáticamente una superposición condicional de la superficie de sello exterior del pasador y la superficie de sello interna del elemento de acople después de la construcción forzada, y también muestra condicionalmente la tensión radial en el primer y segundo sellos.

La figura 6 muestra una imagen de esfuerzos equivalentes durante el ensamblaje de una junta roscada con contacto solo sobre el segundo sello.

La figura 7 muestra una imagen de los esfuerzos equivalentes después de ensamblaje forzado de una junta roscada con un contacto en el primer y segundo sellos, así como también en el sello de extremo.

La figura 8 muestra una imagen de los esfuerzos equivalentes para todos los elementos de una junta roscada después del ensamblaje forzado de una junta roscada con el torque de construcción óptimo.

La figura 9 muestra esquemáticamente una sección longitudinal de una parte del elemento de rosca del tubo (pasador) con el radio de las porciones toroidales de las superficies sellantes y con las dimensiones que determinan la posición del primer y segundo sellos.

La figura 10 muestra esquemáticamente la forma del morro del pasador, lo cual requiere la introducción de una operación de precompresión.

La figura 11 muestra fotos de una caja y un pasador de la junta roscada fabricada.

Una junta roscada para tuberías de campos de petróleo (Figs. 1 y 2) Consiste en un miembro macho 1 y un miembro hembra 3 con roscas cónicas con un perfil trapezoidal no uniforme, con una unidad sellante marcada como la posición 2 en las figuras 1, 2, 3, 4. Así que los miembros especificados 1 y 3 forman los siguientes sellos:

- Dos sellos radiales en la interconexión de dos porciones 4 y 5 (Fig. 3), La superficie exterior del morro del pasador con la superficie apareada de la caja 6 (Fig. 4);
- El sello de extremo cuando la cara del pasador interactúa con la superficie apareada de la caja 7 (Fig. 4).

Debe notarse que, aunque los autores ilustran la descripción de la junta roscada de la caja como un ejemplo, todas las soluciones técnicas son equivalentes para una junta no roscada cuando el diseño del tubo proporciona que un extremo del tubo está hecho en forma de un pasador tradicional con una rosca macho, y el extremo opuesto del tubo - en forma de una cuenca, o sea, el extremo para tubo de la caja.

Por lo tanto, puede resumirse el resultado técnico proporcionado por la intensión reclamada es para garantizar que la junta permanece altamente hermética bajo cargas multidireccionales significativas (tensión, compresión, de doblado, presión interna y externa de fluido y sus combinaciones), características de construcción mejoradas con un rayado mínimo o ningún rayado del metal en la superficie sellantes y roscas con múltiples ciclos de construcción y destrucción. Esta solución técnica asegura la eficiencia operacional de los tubos con la junta roscada propuesta.

La invención propuesta por los autores incluye algunas técnicas bien conocidas, innovaciones propietarias para introducir características de desempeño absolutamente nuevas destinadas a incrementar aún más la hermeticidad y confiabilidad, consecuentemente esto resulta en un cambio en el desempeño de la junta roscada como un todo. Tales técnicas bien conocidas, primero que todo, son:

- El uso de precompresión;
- Un perfil de rosca especial;
- Un diseño especial de la porción del pasador en el extremo del tubo (superficie sellante de extremo), incluyendo un ángulo de pendiente específico del plano de la cara de extremo;
- Una unidad de sellado radial especial;
- Una forma especial del morro del pasador y las ranuras en la caja.

Al mismo tiempo, las dimensiones de cualquier elemento estructural dado y las condiciones de compresión introducidas por los autores en esta invención sirven para mejorar aún más la hermeticidad y la confiabilidad, así como también para lograr una alta eficiencia de compresión, combado, y torque de la junta roscada.

En la junta roscada de clase Premium, la unidad sellante 2 (Figs. 1, 2, 3, 4) contiene dos porciones toroidales 4 y 5 separadas axialmente (Fig. 3) en el miembro macho 1 y al menos una porción ahusada 6 (Fig. 4) en el miembro hembra 3 (caja), los cuales, cuando se ensambla la junta, forman dos sellos de bola y cono 8 y 9 que se afectan mutuamente (Fig. 5). Al mismo tiempo, los autores proponen usar una proporción derivada empíricamente para calcular la relación entre los radios de las “bolas” sellantes y la tensión correspondiente de las superficies de contacto cuando se ensambla la junta:

$$1,0 < \frac{R1 \cdot d1^3}{R2 \cdot d2^3} < 2,0$$

Donde R1 y R2 son los radios de las porciones toroidales de la superficie sellante (Fig. 3), d1 y d2 son los valores reales de la tensión en el primer y segundo sellos 9 y 8, respectivamente (Fig. 5), en el estado de ensamblaje forzado de la junta roscada (al momento del contacto de las caras de las superficies sellantes).

En este caso, los autores sugieren que el primer sello se localice en el lado de la cara superior (más cerca del extremo del tubo), y el segundo sello se localice en el lado roscado.

Como resultado de la verificación de los cálculos de resistencia conducidos por los autores empleando métodos de elementos finitos y pruebas a escala total de muestras de juntas roscadas en mesas de prueba, se encontró que la satisfacción de esta relación limita el impacto negativo de la “descompresión” de las superficies sellantes cuando se exponen a combinaciones de carga adversas, lo cual permite crear una junta roscada de clase Premium con características mejoradas de hermeticidad y confiabilidad.

Las razones para escoger estas dependencias se describen en detalle debajo.

Como se muestra en las patentes DE4446806 y WO 2009/060729, la creación del segundo punto de soporte proporciona un contacto adicional entre la superficie del pasador y la superficie apareada de la caja (el “primer” sello de la presente invención) lo que permite un uso más completo del margen de rigidez radial de un pasador largo. Sin embargo, en ambas invenciones, el soporte funciona solo para un número de combinaciones de cargas el círculo VME completo. Incluso en la junta roscada, para un tipo particular de carga, puede haber una separación en el segundo punto de soporte, ya sea debido a una deformación plástica irreversible resultante en presiones de contacto más bajas o debido a una tensión radial reducida en el punto de soporte. Como resultado, las juntas roscadas tanto de la patente DE4446806 como la publicación WO 2009/060729 no tienen características de hermeticidad insuficientes para los ciclos Q1 + Q3: (alta compresión + alta presión externa) – (alto esfuerzo de tensión + alta presión interna). También, hay un problema de mejorar la compresión de la junta, y la eficiencia del torque.

Como resultado de los cálculos y el trabajo experimental con muestras de juntas roscadas, los autores de la presente invención han encontrado que es posible crear tal junta roscada con una unidad sellante que comprende dos sellos de bola y cono separados axialmente. El primero de los cual está localizado en el lado de la cara de parada, el segundo está localizado en el lado de una porción roscada, y ambos ellos retienen la hermeticidad en la totalidad del ciclo VME descargas combinadas repetidas. Investigaciones adicionales por parte de los autores de la invención han revelado que la operación conjunta de ambos sellos interactuando permite asegurar la confiabilidad mejorada de la unidad sellante.

La confiabilidad mejorada yace en la habilidad para incrementar significativamente el margen de hermeticidad en la unidad sellante por medio de ensamblar la junta con una tensión radial incrementada la cual es 3 a 4 veces mayor que la tensión mínima que asegura la hermeticidad de la junta cuando se expone a cargas periódicas combinadas.

Como explicación adicional, se propone introducir otro grupo de términos en la descripción que son usados por los diseñadores de juntas roscadas clase

premium y que permitirán una divulgación completa de la esencia técnica de la invención.

La tensión radial geométrica fue definirse como la mitad de la diferencia entre el diámetro exterior del pasador y el diámetro interior de la caja medidos en el plano soportante del sello.

La tensión radial real de los elementos de tubo y caja coincide con la cantidad de desplazamiento de la superficie exterior del pasador y la superficie interior de la caja, respectivamente, bajo la influencia de un ensamblaje forzado y cargas externas y determinar la extensión del esfuerzo circunferencial en la caja y en el pasador.

La tensión radial efectiva del pasador y de la caja corresponde al desplazamiento del pasador o la caja, respectivamente, bajo la influencia de fuerzas de contacto en el sello y que puede utilizarse como una característica cuantitativa del margen de hermeticidad en el sello. La tensión radial efectiva puede definirse como la diferencia entre la tensión radial real, o sea, el desplazamiento total del punto de contacto y el desplazamiento total de este punto bajo la influencia de todas las fuerzas que actúan sobre el pasador o la caja excepto la presión de contacto en el sello. Sin embargo, es más fácil definir este tipo de tensión como un producto del doblez radial al componente radial de la presión integral correspondiente a la fuerza transversal en la teoría de cascarones cilíndricos de pared delgada. Si una de las superficies de contacto esta ahusada, El componente radial de la presión integral es directamente proporcional al valor total de la presión integral, y, cómo es bien sabido del arte previo, este valor caracteriza el margen de hermeticidad del sello. El desplazamiento radial del punto de contacto y el doblado radial del pasador en la ubicación del sello pueden aproximarse mediante la aplicación de métodos de teoría de elasticidad o más precisamente al simular la operación de una junta roscada utilizando el método de elementos finitos.

Entonces, en vista de los resultados de los cálculos y trabajos experimentales con muestras de la Junta roscada, los autores encontraron que la posibilidad de la tensión incrementada arriba mencionada (3 a 4 veces más que la

tensión mínima que proporciona la hermeticidad) se proporciona al reducir las fluctuaciones de la tensión efectiva y, en concordancia, el margen de hermeticidad en el sello a una exposición secuencial a fuerzas combinadas correspondientes al ciclo completo de cargas finales para un cuerpo de un tubo.

La reducción de las fluctuaciones de la tensión efectiva se logra utilizando una combinación D dos sellos de bola icono que se afectan mutuamente, los cuales se forman como resultado de la interacción de dos porciones toroidales separadas axialmente con dos porciones ahusadas apareadas, Caracterizado porque las tensiones en el sello y los radios de las porciones toroidales satisfacen la dependencia arriba mencionada, $1,0 < \frac{R1 \cdot d1^3}{R2 \cdot d2^3} < 2,0$. Esta proporción asegura

que al final del ensamblaje forzado, ambos ellos alcanzan simultáneamente el nivel requerido de hermeticidad. Si la proporcionada es menor a 1.0 o mayor a 2.0, 1 de los sellos tiene una carga baja con respecto al otro, como resultado, cuando se aplica la carga combinada en un sello descomprimido, puede aparecer una brecha - ejemplos de tales casos se muestran en los diagramas de esfuerzo:

- En la figura 6, el segundo sello está sobrecargado y hay una brecha en el primer sello;
- en la figura 7, el primer sello está “sobrecargado” y el segundo sello está con “poca carga” - el nivel de presión de contacto en el segundo sello es insuficiente para asegurar la hermeticidad a lo largo de la totalidad del rango de cargas operativas;
- En la figura 8, ambos ellos están cargados uniformemente, y las presiones de contacto en el primer y segundo sellos son aproximadamente las mismas.

Una ventaja adicional del diseño de dos sellos es la creación de soporte adicional mencionado en las patentes DE4446806, WO 2009/060729, Lo cual limita el doblado del morro largo bajo la acción de cargas combinadas debido a la restricción en el desplazamiento del extremo del pasador hacía la superficie exterior, así como también el incremento deficiencia de carga de compresión mencionado en las patentes EA008078, WO 2009/060729 mediante el uso de un morro de pasador de alta rigidez radial y baja rigidez axial en el cual el

desplazamiento del extremo del morro está limitado tanto en la dirección de la superficie interna como de la superficie externa.

Sin embargo, los documentos de patente WO 2004/109173, DE4446806, y WO 2009/060729 no consideran el efecto de la interacción de dos sellos sobre la cantidad de tensión efectiva en cada sello bajo cargas combinadas. El principio propuesto de limitar las fluctuaciones de la tensión efectiva para incrementar el margen de hermeticidad total logable de la junta roscada es nuevo en relación con el arte previo.

Cuando el sistema tiene dos sellos en el morro del pasador, cada uno de los cuales crea una cierta tensión geométrica, se logra un incremento de la presión integral (fuerza compresiva del morro del pasador desde las superficies sellantes) debido a una compresión radial más uniforme del pasador. Cuando se crea una tensión radial en un sistema de dos sellos, los sellos se influyen entre sí. Los desplazamientos reales del punto de contacto de los sellos consisten en el desplazamiento de ese punto bajo la influencia de la tensión en el otro sello y la tensión efectiva creada por la fuerza de contacto en el sello mismo. Esto resulta en una redistribución de la fuerza total de la compresión del pasador entre los dos sellos. Si alguna combinación de cargas resulta en una deformación parcial del morro del pasador - las fuerzas externas que actúan sobre la junta roscada causan tal desplazamiento de la superficie exterior del morro del pasador y la superficie apareada de la caja que la tensión efectiva determinada sin tomar en cuenta la interacción de los sellos se ve reducida - luego el cambio de la tensión efectiva en cada sello respecto a la interacción entre los sellos se ve reducida por una cantidad correspondiente al desplazamiento del punto de contacto debido al cambio de la tensión en el otro sello.

Como resultado de ello, en un sistema de dos sellos interactuantes, las fluctuaciones de la tensión efectiva son reducidas, lo cual permite asegurar la hermeticidad a lo largo de la totalidad del rango de cargas combinadas con una atención geométrica más baja. La diferencia entre la tensión de extremo de la condición de trabajo en el área elástica y la tensión mínima que asegura una hermeticidad se incrementa, como resultado, la junta puede ensamblarse con un

margen de hermeticidad aumentado. En concordancia, una junta de este tipo tiene mejores características de sellado y confiabilidad que las juntas de clase Premium conocidas del arte previo.

Sin embargo, el mecanismo descrito funciona solo si el contacto en cada uno de los sellos se mantiene en todas las combinaciones posibles de cargas. Es preferible que los márgenes de hermeticidad del primer y segundo sello coincidan implicando que el desempeño de hermeticidad máximo se logra mediante los dos sellos cuando se ensambla la junta. De esta manera, se garantizan ciertas características geométricas de la superficie sellantes exterior interior (radios de las porciones toroidales, ubicación de las porciones toroidales relativas al extremo del pasador, ubicación de la superficie sellante apareada de la caja durante el ensamblaje de la junta) permitiendo obtener el resultado técnico planeado.

Si sabe del arte premio que el margen de hermeticidad en un solo sello de bola icono se determina por el valor de la presión integral, lo cual a su vez depende de la tensión radial real en el sello.

La hermeticidad se asegura cuando se cumplen las siguientes condiciones:

- la longitud de contacto es de al menos 1 mm, preferiblemente 1.5 – 3 mm;
- La presión promedio en la superficie de contacto es mayor que la presión retenida, la proporción de la presión de contacto promedio a la presión de fluido retenido es preferiblemente 4 – 10;
- La presión máxima de contacto no excede el límite elástico por más del doble; la presión de contacto máxima es preferiblemente de 80 – 160% del límite elástico.

El nivel máximo de hermeticidad (margen de hermeticidad igual a 1) corresponde al contacto de 1 mm de largo y a la presión de fluido igual a la presión de contacto promedio. un incremento en la longitud de contacto y en la proporción de la presión de contacto promedio a la presión de fluido retenido resulta en un incremento en el margen de hermeticidad.

El margen máximo de hermeticidad se asegura mediante una selección correcta del radio de la porción toroidal. incrementar el radio a un valor fijo

detención incrementa el tamaño del área de contacto y reduce los esfuerzos de contacto promedio y máximo. Un radio muy pequeño resulta en una hermeticidad de contacto insuficiente debido a un área de contacto corta. Un radio muy grande resulta en una hermeticidad de contacto insuficiente debido a presiones de contacto bajas.

Otra característica del sello de bola y cono ubicado en el extremo del miembro macho es el desplazamiento de la superficie de contacto cuando se ensambla la junta. Consecuentemente, la dimensión axial del área toroidal debe ser mayor que el tamaño de área de contacto requerido debido a la condición de hermeticidad.

Cuando se implementa la invención, se deben tener en cuenta factores adicionales que aseguran el desempeño necesario de la junta roscada. Primero que todo, las propiedades contra el rayado permiten múltiples ensamblajes y desensamblajes de la junta roscada. Las propiedades contra rayado del sello, así como también la interacción de los dos sellos de bola y cono presentados en esta invención, se efectúan (como se explica arriba) mediante los radios y la tensión de los sellos. Si el radio de un sello está por debajo de los 10 mm, hay un alto riesgo de rayado en el sello. De otro lado, es necesario asegurar que no hay rayado en las roscas, así como en el hombro cuando se ensambla la junta con un torque de construcción elevado. También es necesario usar técnicas destinadas a mejorar la confiabilidad de la junta bajo la acción de la presión externa, la carga de compresión, el alto torque de construcción y doblado.

Como los autores encontraron en su investigación, las porciones ahusadas del sello radial pueden localizarse tanto en el miembro hembra (caja / extremo de caja del tubo) y en el miembro macho (pasador). En otras palabras, si hay una superficie ahusada sellante en el extremo de caja, entonces la superficie sellante del pasador contiene dos porciones toroidales y viceversa. Debe notarse que desde el punto de vista de la capacidad de fabricar una junta roscada (roscado) y la simplificación de su medición y control, es aconsejable dar preferencia a porciones toroidales en la parte del pasador del tubo.

Al mismo tiempo, en un número de trabajos experimentales cuando se desarrolla una junta roscada, los autores encontraron que el ahusado más óptimo del elemento sellante no debe exceder 1:6 (o sea, desde un cilindro simple hasta un cono con un ahusado de 1:6). Las porciones con un ahusado mayor a 1:6 reducen la superficie de extremo (resultando en una nariz muy delgada), lo cual es indeseable desde el punto de vista de asegurar la alta confiabilidad ajo cargas compresivas, doblado, y torque excesivo.

En este caso, la solución más efectiva para asegurar la tensión óptima en el sello es la solución propuesta para la geometría del hombro de la caja (Fig. 4, ítem 7) – es preferible diseñarlo con un ángulo de flanco invertido desde meno 10° a menos 20° . Una cara de parada con un ángulo menor a menos 10° reduce el efecto de precompresión en la construcción axial de la junta, lo cual disminuye el margen de hermeticidad en el primer sello y reduce la confiabilidad de la junta roscada. Además, el ángulo invertido insuficiente del hombro disminuye el efecto de cuña previniendo la abertura de las superficies sellantes bajo la acción de la presión externa al limitar el radio de desplazamiento del morro del pasador al eje del tubo. El efecto de cuña también permite reducir aún más las fluctuaciones en la tensión efectiva en los sellos bajo la acción de cargas combinadas repetidas. Un hombro con un ángulo mayor a menos 20° reduce la resistencia del hombro de la caja debido a una disminución en su espesor, el cual como consecuencia no puede actuar como un limitador del movimiento radial en el extremo del elemento de tubo al eje del tubo.

Además, la investigación llevada a cabo por los autores de la solución técnica propuesta (cálculos de verificación y ensayos de las muestras de juntas roscadas a escala completa) encontraron que la ubicación de los sellos de tipo bola y cono en la unidad de sellad (mostrado en la Fig. 9) es particularmente importante para mantener la hermeticidad: la distancia desde el extremo del tubo a la primera porción toroidal L1, la distancia entre las porciones toroidales L2, y la distancia desde la rosca del extremo del tubo L3.

Como resultado, se encontró que la distancia desde la rosca a la cara de parada en el elemento de tubo no debe exceder la mitad del efecto de borde del

área afectada. El tamaño de la zona afectada se determina en la teoría de los cascarones de pared delgada y es igual a la distancia a la cual las desviaciones causadas por el desplazamiento en un punto dado disminuyen en 23.4 veces. Esta nariz es más corta que la proporcionada en la patente DE4446806, lo cual garantiza una compresión radial más uniforme de la nariz mediante un sistema de dos sellos. Para lograr las mejores propiedades sellantes, es preferible que la longitud de la nariz se incremente con el incremento en el diámetro y el espesor de la pared de acuerdo con el incremento en el tamaño del área del efecto de borde. Este efecto está asociado con las descripciones dadas previamente y está vinculado mediante un solo concepto con el grupo de invenciones obtenidas en este caso, ya que tiene como objetivo lograr el mismo resultado técnico.

Los cálculos hechos por los autores de la solución técnica propuesta muestran que la distancia preferida desde el primer punto de sellado al morro del pasador es de 2 – 10 mm. Esta distancia es significativamente menor que para la invención bajo la patente DE4446806 y ligeramente mayor que para la invención bajo el documento de patente WO2009/060729. Si esta distancia es menor a 2 mm, el efecto de la precompresión durante la construcción axial se incrementa significativamente, lo cual puede llevar al rayado, ya sea en el primer sello o en el hombro. Si esta distancia es mayor a 10 mm, el efecto de precompresión se reduce significativamente, lo cual resulta en un margen de hermeticidad reducido en el primer sello y características de centrado reducidas del segundo sello usando el sistema de “primer hombro de parada del sello”. En este caso, los radios de los arcos circulares (correspondientes a las porciones toroidales en sección transversal) y la distancia entre los centros de estos círculos se seleccionan de manera tal que cuando la junta roscada está completamente construida y la junta está doblada a un ángulo de al menos $13^{\circ}/10\text{ m}$ y la presión interna de fluido está presente, el contacto se mantiene en el primer y segundo sellos de bola y cono – o sea que, como se describe en el caso de arriba para el primer grupo de invenciones, la junta roscada permanece operacional a diferentes combinaciones de cargas durante la operación. Los cálculos mostraron que los radios circulares del arco para diferentes tamaños de juntas roscadas y grupos de resistencias

debe preferiblemente seleccionarse en el rango de 20 a 80 mm. Esta elección asegura la retención simultánea del contacto entre el primer y segundo sellos y el tamaño del área de contacto en cada sello requerida bajo las condiciones de hermeticidad, así como los límites del desplazamiento del área de contacto durante el ensamblaje de la junta y el efecto sobre ella de las diferentes combinaciones de cargas.

Para el radio de la porción toroidal en el rango de 20 a 80 mm, el tamaño del área de contacto es de 2 – 3 mm. Para prevenir que el área de contacto se salga más allá de la porción toroidal, su tamaño axial debe preferiblemente yacer en el rango de 4 a 8 mm.

Por razones de diseño, es preferible que la distancia desde el primer punto sellante al extremo del morro del pasador sea de 2 – 5 mm. En este caso, colocar dos sellos de bola y cono de la longitud necesaria que interactúan en el morro del pasador condiciona la ubicación del punto del segundo sello a una distancia de 7 – 12 mm desde el plano del sello de extremo.

El diseño de dos unidades sellantes de bola y cono propuestos en esta invención debe preferiblemente ser cortado en la pieza de trabajo del tubo después de reducir el extremo del tubo con maquinado adicional de la superficie interna del morro del pasador. La figura 10, ítem 10, muestra el área de compresión y maquinado adicional. Más aún, la reducción debe permitir el hacer un morro del pasador con un diámetro interno D_2 bajo el primer y segundo sellos 0 – 3 mm más pequeño que el diámetro interno nominal del tubo D_1 (Fig. 10). Asegurar que el diámetro interno corresponde a o es ligeramente mayor que el diámetro nominal del tubo permite descartar la influencia de desviaciones geométricas de la pieza de trabajo sobre el desempeño de la junta. Si el diámetro interno del tubo es reducido como resultado de la compresión por más de 3 mm, esto puede prevenir las operaciones de proceso necesarias dentro del tubo durante el desarrollo del campo (inserción de marranos, muestreo geofísico, etc.). La compresión incrementa la rigidez radial del pasador, lo cual mejora la hermeticidad y confiabilidad de la junta roscada. El uso de compresión en

conjunción con el maquinado permite asegurar una superficie interna de la junta roscada al ras, lo cual mejora las condiciones de flujo dentro del tubo.

Incrementar el tamaño radial del hombro al 60% del espesor de la pared del tubo o más es una ventaja adicional para la compresión. Este incremento no es posible para una junta roscada bajo la patente DE4446806. Un morro del pasador con mas del 60% del grosor de la pared del tubo mejora la hermeticidad de la junta, así como la eficiencia de la compresión y el torque. Una unidad sellante diseñada de acuerdo con esta invención, junto con la precompresión del extremo de parada de la pieza de trabajo permite logra un 100% de eficiencia de compresión en la junta roscada.

Además, es preferible que la compresión se lleve a cabo con un ahusado igual a o mayor que el ahusado del roscado. La compresión con este ahusado mejora el uso del material de la pieza de trabajo y reduce la carga sobre la herramienta roscada cuando se rosca ele elemento de tubo. Sin embargo, la compresión también puede realizarse para obtener una porción cilíndrica.

En otro caso particular, el perfil del roscado puede hacerse de manera tal que las raíces y las puntas del diente de roscado están paralelas al eje del tubo, y las brechas en las caras empotradas son mínimas cuando la junta se diseña para trabajar en compresión con una fuerza de al menos 100% del límite elástico nominal del material del tubo, y las raíces y las puntas de los giros son paralelas al eje de la rosca para la condición, y las brechas en las caras empotradas se incrementan cuando la junta esta diseñada para trabajar en compresión con una fuerza de 60% a 100% del límite elástico nominal del material del tubo.

Las razones para esta elección de características en este caso especial de la solución son las siguientes: con una brecha de menos de 0.15 mm entre las caras empotradas, la compresión de la junta roscada puede resultar en un contacto parcial en las caras empotradas y la fuerza compresiva comienza a esparcirse no solo en la superficie de extremo del sello sino también en los flancos de los dientes – las caras de guía. En otras palabras, el morro esta descargado – cuando las cargas de compresión se aplican a la junta roscada debido a las brechas estructurales en la rosca, la unidad sellante del extremo es primero

cargada (deformación elástica). En este caso, las cargas de compresión no deben exceder tales esfuerzos de contacto cuando comienzan a suceder las deformaciones plásticas irreversibles en la unidad sellante del extremo. Las cargas de compresión aplicadas pueden incrementarse si, en adición a la deformación elástica de la unidad sellante del extremo, los flancos del diente roscado están engranados en cierta etapa, de manera tal que la carga de los esfuerzos de compresión es distribuida a la unidad sellante de parada y los flancos de la rosca. Entre más pequeña sea la brecha entre las caras empotradas, más temprano comienza la interacción a lo largo de las caras de guía y, consecuentemente, mayor es el desempeño de compresión de la junta.

Los cálculos mediante el método de elemento finito y los prototipos subsiguientes construidos con diferentes torques (los cuales respectivamente proporcionan ciertos esfuerzos de contacto en la superficie de la unidad sellante de extremo) mostraron que bajo cargas de hasta el 100% del límite elástico el metal de la cara de la superficie del sello está en el área de la deformación elástica, lo cual asegura la ausencia de deformación plástica de la junta roscada en este sello y, en concordancia, asegura la preservación del desempeño de la totalidad de la estructura como un todo.

Sin embargo, en algunos casos es necesario tener una brecha aumentada a lo largo de las caras de guía para simplificar el procedimiento de fabricación de la junta roscada. En este caso, la eficiencia de compresión de una junta roscada puede ser del 60 – 100% del límite elástico del material del tubo, dependiendo del diseño de la junta.

Del arte previo, se sabe que el desempeño de una junta roscada también depende de su correcto ensamblaje. Los autores de la invención proponen seguir los siguientes requisitos al seleccionar las condiciones de ensamblaje para una conexión de la rosca altamente confiable de la camisa en las tuberías:

1. Al ensamblar las juntas, las tensiones radiales en el primer y segundo sellos pueden seleccionarse de manera tal que los esfuerzos circunferenciales en el extremo del miembro macho que contiene la superficie sellante sean del 60 – 100% del límite elástico del material del miembro macho.

Esto incrementa la confiabilidad de la junta roscada, sin afectar las condiciones de trabajo del sello en el área elástica. Las cargas combinadas pueden reducir el margen de hermeticidad. El uso de un sistema de dos sellos de bola y cono interdependientes, caracterizado porque las tensiones radiales en los radios de las porciones toroidales satisfacen la dependencia $1,0 < \frac{R1 \cdot d1^3}{R2 \cdot d2^3} < 2,0$, lo cual permite esta reducción. Como resultado, con la peor combinación de cargas, se aseguran, en general, la tensión efectiva máxima en cada uno de los sellos y, consecuentemente, un alto margen de hermeticidad del sello.

2. El torque de fabricación utilizado para ensamblar la junta roscada se deberá seleccionar de manera tal que después del ensamblaje de la junta, los esfuerzos axiales en la sección de extremo del miembro macho que contiene la superficie sellante son del 50 – 80% del límite elástico del material del miembro macho. Esta cantidad de torque previene las deformaciones plásticas cuando actúa sobre la junta roscada de la carga de compresión y se abre el sello mecánico bajo tensión. De otra parte, esta cantidad de torque de fabricación limita el efecto de la liberación del sello por la presión externa. Esto por consiguiente asegura la caída mínima de la tensión efectiva y la hermeticidad asociada para el sistema de dos sellos de bola y cono interdependientes caracterizados porque la tensión de los sellos y los radios de las bolas satisfacen las dependencias, $1,0 < \frac{R1 \cdot d1^3}{R2 \cdot d2^3} < 2,0$, incrementando así la confiabilidad de la junta roscada.

Debe notarse que la alta hermeticidad de gas del sistema de dos sellos interdependientes del tipo de bola y cono caracterizados porque la tensión y el radio de las porciones toroidales satisfacen las dependencias, $1,0 < \frac{R1 \cdot d1^3}{R2 \cdot d2^3} < 2,0$, permitiendo emplear juntas roscadas ensambladas tanto con torque de fabricación reducido e incrementado. La diferencia entre el torque de fabricación y el óptimo (incrementado o reducido) reduce el margen de hermeticidad en el sello con la peor combinación de cargas. Sin embargo, aún un margen de hermeticidad reducido es suficiente para asegurar la operabilidad y la hermeticidad al gas de la

junta a lo largo de la totalidad de cargas combinadas correspondientes al 100% de la carga máxima en el cuerpo del tubo en términos del equivalente de von Mises.

La descripción anterior de la implementación específica de la invención muestra que la competencia de un experto en esta tecnología es suficiente para diseñar una junta roscada que contiene un sello de un sistema de dos sellos interdependientes de bola y cono caracterizado porque la tensión del sello y los radios de las porciones toroidales satisfacen las dependencias, $1,0 < \frac{R1 \cdot d1^3}{R2 \cdot d2^3} < 2,0$, presentando un 100% de eficiencia y alta confiabilidad.

Los cálculos de elementos finitos y los prototipos subsiguientes hechos con diferentes torques (los cuales respectivamente proveen ciertos esfuerzos de contacto en la superficie del sello de extremo) han mostrado que el sello propuesto funciona en el área de la deformación elástica en la totalidad del rango de las cargas combinadas correspondientes al 100% de la carga final en el cuerpo del tubo en términos del equivalente de von Mises y proporciona una hermeticidad al gas incrementada en la junta roscada.

La junta de tubo roscada que contiene dos sellos de bola y cono radiales y un sello de extremo, propuesta por los autores, es fabricada industrialmente utilizando tecnologías de trabajo en metales comunes aplicadas en la producción de tuberías de tubos y camisas, tanto en la producción piloto de un gran número de juntas roscadas (Fig. 11) para pruebas e investigación como en el desarrollo de producción industrial.

Por lo tanto, resumiendo las dos versiones de la solución técnica ofrecida por los autores, que resultan en el logro del resultado técnico reclamado (junta roscada de clase Premium para tuberías de tubo y camisa con la máxima hermeticidad posible y confiabilidad mejorada para el rango más amplio de cargas operativas, incluyendo doblado, compresión, cargas combinadas y cíclicas, y preserva su desempeño después de ensamblajes y desarmados repetidos), permite formular brevemente los parámetros principales de las dos versiones propuestas produciendo resultados funcionales idénticos.

Esto es una junta roscada ahusada con ciertas características geométricas de la rosca con sellos de bola y cono formados por la interacción de las dos

superficies sellantes, una de los cuales contiene dos porciones toroidales y la otra tiene las porciones ahusadas apareadas, las cuales tienen ciertos parámetros geométricos interrelacionados (los radios de las porciones toroidales y las cantidades de tensión geométrica en el sello, la distancia desde el extremo del pasador a los centros de los círculos que corresponden a las porciones toroidales). Al mismo tiempo, todos los parámetros geométricos más importantes de la junta se calculan de tal forma que se asegura un cierto nivel de esfuerzo circunferencial en los miembros macho y hembra, y tales presiones de contacto en los sellos que la junta roscada permanece operacional bajo las condiciones operativas más extremas:

- El hombro esta localizado en un ángulo máximo de 20° a la normal del eje del tubo, las porciones toroidales deben tener un radio de al menos 10 mm, y la superficie sellante ahusada apareada tiene un ahusado dado (menos de 1:6 para la superficie cilíndrica) donde la relación de los radios de las porciones toroidales corresponde a la proporción, $1,0 < \frac{R1 \cdot d1^3}{R2 \cdot d2^3} < 2,0$ (d1 y d2 – tensiones radiales en el sello);

- Los radios de los círculos correspondientes a las porciones toroidales de sus posiciones relativos a la cara del pasador están interrelacionados de acuerdo con el siguiente principio: la distancia desde el plano de la cara del sello al centro del primer círculo es de 2 – 10 mm, y los radios de los arcos circulares y la distancia entre los centros de estos círculos se calculan desde las condiciones para retener el contacto en el primer y segundo sellos de bola y cono bajo las siguientes condiciones de operación: doblado de la junta a un ángulo de al menos 13° / 10 m y una presión interna de fluido de hasta 100% del límite elástico del material.