

MEDENUS

Gas Pressure Regulation

REGULACIÓN DE PRESIÓN DE GAS PARA HIDRÓGENO

HASTA 16 BAR



100% MADE IN GERMANY

WWW.MEDENUS.DE

REGULACIÓN DE PRESIÓN DE GAS PARA HIDRÓGENO HASTA 16 BAR CON MATERIALES DE ALUMINIO

La creciente actualidad de la temática de la regulación de presión de gas para hidrógeno y las afirmaciones contradictorias con respecto a la utilización de aleaciones de aluminio en aplicaciones de este tipo con presiones de hasta 16 bar, ha motivado que nosotros, MEDENUS Gas- Druckregeltechnik GmbH, hayamos encargado a la Universidad Técnica de Aquisgrán un estudio y una investigación bibliográfica en profundidad al respecto. El trabajo se debía centrar especialmente en las aleaciones de aluminio utilizadas por MEDENUS Gas- Druckregeltechnik GmbH con el objetivo de documentar y dar respuesta a los interrogantes abiertos de forma científica.

Los resultados de este trabajo muestran que las aleaciones utilizadas por nosotros pueden usarse sin limitaciones para aplicaciones con hidrógeno seco y hasta 16 bar de presión de entrada, además de que constituyen una alternativa atractiva a los materiales convencionales como el acero, el hierro fundido y el cobre. Otras ventajas adicionales son un peso claramente inferior y, en consecuencia, una facilidad de manipulación superior, además de una resistencia a la corrosión de clase más alta (C5-I) sin pintura de protección. El trabajo se centró especialmente en las aleaciones utilizadas por MEDENUS y no arroja conclusiones sobre otros materiales de aluminio.

El tratamiento térmico especial T6 de la aleación mencionado en el informe se aplica en los equipos de MEDENUS y es efectuado por una de las fundiciones de aluminio más modernas de Europa, la empresa Ohm und Häner en Olpe. Los propietarios de esta fundición son también los propietarios de la empresa MEDENUS, gracias a lo que se generan sinergias positivas adicionales.

Las aleaciones objeto del estudio son utilizadas por MEDENUS tanto en los reguladores de presión de gas cargados por resorte (series R y RS) como los reguladores por piloto (serie RSP), los filtros de gas de cartucho (serie DF) y las válvulas de descarga de gas (serie SL) con diámetros nominales de hasta DN200.

El medio utilizado en las pruebas especiales de presión y estanqueidad para aplicaciones de hidrógeno en MEDENUS es el helio.

INFORME DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AQUISGRÁN (RESUMIDO A LOS PUNTOS MÁS IMPORTANTES DEBIDO A LO EXTENSO DEL MISMO)

PLANTEAMIENTO

La aleación de aluminio (EN-AC 42100) hipoeutéctica $AlSi7Mg0,3$ se encuentra muy extendida en la industria del automóvil y en el ámbito de la tecnología aeronáutica y aeroespacial, además de usarse también para componentes estructurales relevantes para la seguridad. Este amplio espectro de aplicaciones viene dado por las características favorables que presenta el material, como p. ej., baja densidad, buena colabilidad, buenas propiedades mecánicas en caliente y buena resistencia a la corrosión en general.

Los materiales más utilizados para la fabricación de equipos de regulación de presión de gas para hidrógeno son sobre todo el acero fundido, el hierro fundido y el latón. No obstante, y en razón a las atractivas propiedades del $AlSi7Mg0,3$, seguidamente se procede a establecer con ayuda de la documentación bibliográfica de los últimos 20 años la idoneidad de este material para este caso de aplicación, prestando una especial atención al peligro del fenómeno de la fragilización debida al hidrógeno.

PUNTO DE PARTIDA Y ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO

La elevada solubilidad del hidrógeno en el aluminio líquido, que a su vez, y debido a su baja solubilidad en el material sólido, puede conllevar la aparición de burbujas de gas durante la solidificación, es un hecho generalmente conocido. La resultante porosidad del material puede llevar asociada un empeoramiento dramático de las propiedades mecánicas, aunque esta circunstancia se puede evitar en gran medida mediante la desgasificación. En cuan-

to a la reacción del hidrógeno gaseoso con el material fundido solidificado no disponemos hasta ahora de estudios en la bibliografía consultada.

En cambio, la reacción de las aleaciones de aluminio para forja con hidrógeno en estado sólido está mucho mejor estudiada. Así se encuentran trabajos sobre el fenómeno de la corrosión por tensofisuración, en el que bajo una sollicitación mecánica y la influencia de un medio corrosivo se producen a la vez una reacción de disolución anódica y una fragilización por hidrógeno catódica, y el del «Environmentally Assisted Cracking», que describe la fragilización por hidrógeno debido a la humedad ambiental sin disolución del material. El efecto del gas de hidrógeno seco sobre las propiedades mecánicas del aluminio y sus aleaciones también ha sido estudiado ya por distintos grupos y ha sido calificado hasta ahora como irrelevante. Se asume que la razón es el efecto protector de la fina capa de óxido en el aluminio, que inhibe la división energéticamente desfavorable de las moléculas de agua y su acumulación.

La degradación de las propiedades mecánicas de los materiales de aluminio debido al hidrógeno se atribuye mayormente a la acumulación del hidrógeno en «trampas» como, p. ej., los límites del grano, segregaciones, desplazamientos y huecos, y que provocan una reducción local de la ductilidad. Mecanismos conocidos son la hydrogen-enhanced localized plasticity (HELP), la hydrogen-enhanced decohesion (HEDE) y la absorption-induced dislocation emission (AIDE). Especialmente las fases secundarias $MgZn_2$, Mg_2Si , $Al-Fe-Si$ y Al_7Cu_2Fe se han identificado como trampas de hidrógeno, de modo que se puede establecer una correlación entre la propensión a la fragilización por hidrógeno con la microestructura presente, entre otras.

En el caso de las aleaciones para forja $Al-Zn-Mg(-Cu)$ de la serie 7xxx ya se observó su propensión tanto a la corrosión por tensofisuración, como al EAC. Mientras que la cuestión de

la dominancia de la fragilización por hidrógeno en la corrosión por tensofisuración todavía no se ha clarificado de forma suficiente, en las investigaciones del EAC sí se ha podido establecer una correlación clara entre la velocidad de avance de la fisura y la humedad relativa, que determina la transferencia de hidrógeno. Aunque en atmósferas de gas de hidrógeno seco no se ha observado fragilización alguna en las aleaciones 7xxx. En la microestructura de las aleaciones 7xxx se encuentran junto a las fases finamente distribuidas de $MgZn_2$, que aumentan la resistencia, también fases ricas en Cu, como Al_2Cu_7Fe y, según la composición, también de Mg_2Si y Al-Fe-Si.

Las aleaciones Al-Mg-Si(-Cu) de la serie 6xxx son conocidas por su inmunidad a la corrosión por tensofisuración, y en lo que respecta al EAC en las aleaciones 6xxx, tampoco hay nada documentado en la bibliografía consultada. A pesar de la falta de evidencias sobre la propensión a la fragilización por hidrógeno en las aleaciones 6xxx, algunos grupos siguen debatiendo esta posibilidad. Sin embargo, en los trabajos de investigación sobre el 6061-T6 en gas de hidrógeno seco no se observaron efectos negativos sobre las propiedades mecánicas, razón por la que este material se utiliza hoy en día entre otras cosas como revestimiento en depósitos

de agua de alta presión. La microestructura de las aleaciones 6xxx se caracteriza principalmente por las fases de Mg_2Si , junto a las que también suele haber normalmente presentes fases Al-Fe-Si. No tiene fases con cinc como las aleaciones 7xxx y, por lo tanto, presenta tendencialmente menos trampas de hidrógeno. Durante la comparación del 6061-T6 y el 7075-T6 también se observó una densidad de distribución más baja de las segregaciones en la aleación 6xxx, lo que reduce adicionalmente la cantidad de hidrógeno acumulada en el material.

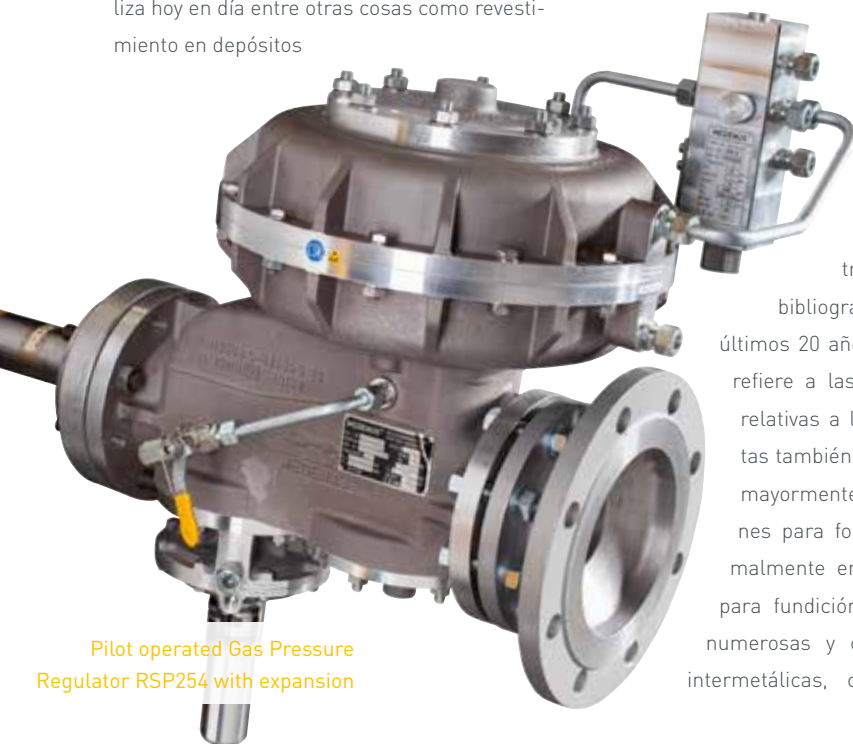
Sobre la vulnerabilidad del $AlSi_7Mg_{0,3}$ frente al hidrógeno no se encuentran referencias bibliográficas en los últimos 20 años. En lo que se refiere a las investigaciones relativas a la corrosión, estas también se han centrado mayormente en las aleaciones para forja, ya que normalmente en los materiales para fundición se suelen dar numerosas y complejas fases intermetálicas, cuyas propieda-

des electromecánicas son desconocidas en gran medida. No obstante, algunos trabajos constatan unas tasas de corrosión bajas del $AlSi_7Mg_{0,3}$ en agua salada artificial y una propensión a la corrosión intercrystalina en estado fundido, aunque esta última se minimiza satisfactoriamente aplicando velocidades de enfriamiento altas. Sin embargo, la microestructura del material sí se encuentra descrita detalladamente en la bibliografía consultada.

La estructura de la aleación hipoeutéctica Al-Si7Mg0,3 presenta dendritas en aluminio- α , en cuyos intersticios se forma un eutéctico Al-Si.

También se presentan fases Al-Fe-Si, aunque se debe tener en cuenta que con velocidades de enfriamiento más altas se forma preferentemente la fase α -Al-Fe-Si, mientras que con velocidades de enfriamiento más bajas se forma la fase B- Al_5FeSi . Mediante un tratamiento de homogeneizado se puede aumentar la proporción del Mg disuelto en la matriz y, por tanto, la resistencia. Esta resistencia mayor también conduce a una mejora de las propiedades de fatiga, que son apoyadas por una ramificación de fisuras en las partículas fibrosas Si en el eutéctico.

Para mejorar todavía más las propiedades mecánicas, frecuentemente se cambia el ma-



Pilot operated Gas Pressure Regulator RSP254 with expansion



SPRING LOADED
GAS PRESSURE
REGULATORS



SAFETY RELIEF
VALVES



SAFETY SHUTT-OFF
VALVES



CELLULAR
GAS FILTERS



PILOT OPERATED
GAS PRESSURE
REGULATORS

material al estado T6 mediante un tratamiento de envejecimiento. Gracias a ello se modifica la microestructura de una matriz dendrítica a una matriz de aluminio homogénea, en la que fases de Mg₂Si finamente distribuidas provocan un aumento de la resistencia.

En cambio, las partículas de Si aumentan de tamaño durante el tratamiento térmico y adquieren una forma globulítica, que repercute positivamente en la ductilidad del material. También el índice de calidad, que agrupa tanto la resistencia como la ductilidad de los materiales de fundición en un mismo valor, es hasta 90 Mpa más alto para el estado T6 que para el estado fundido. Además se constató que con cargas dinámicas el AlSi7Mg0,3 en estado T6 resiste tensiones no proporcionales normales y de cizallamiento en mejor medida que los aceros dúctiles.

Debido a la composición química del Al-Si7Mg0,3 y su microestructura en estado T6, con las fases paralelas de Mg₂Si y AlFeSi en una matriz de aluminio-α, este material se debe equiparar más bien con las aleaciones para forja Al-Mg-Si(-Cu) de la serie 6xxx, en vez de con las aleaciones para forja Al-Zn-

Mg(-Cu) de la serie 7xxx. Debido a la ausencia de fases de cinc, se puede asumir que con densidades de segregación equiparables, las aleaciones 6xxx y AlSi7Mg0,3-T6 presentan menos trampas de hidrógeno y, por tanto, presumiblemente menos hidrógeno que las aleaciones 7xxx. Además, en comparación con los materiales para forja, la densidad de dislocación es menor al no producirse deformación plástica, por lo que la cantidad de trampas de hidrógeno es todavía menor en los materiales para fundición. Para el papel de las fases Si primarias en la fragilización por hidrógeno en materiales de aluminio no hay estudios en los últimos 20 años. Aunque su forma globulítica en el estado T6 reduce las concentraciones de tensiones locales debido al efecto de entalla geométrico, lo que convierte en poco probable un fallo del material en estas fases.

RESUMEN Y CONCLUSIÓN

para la aplicación de piezas de fundición de AlSi7Mg0,3 ST6 en equipos de regulación de presión de gas en atmósferas de gas de hidrógeno secas

En comparación con las aleaciones 7xxx más propensas al EAC y la corrosión por tensofi-

suración, la aleación AlSi7Mg0,3 ST6 presenta en su microestructura una cantidad potencialmente menor de trampas de hidrógeno. En cambio, las aleaciones 6xxx han probado su fiabilidad como revestimiento de depósitos de agua de alta presión. Debido a la proximidad tanto a nivel microestructural como químico de la aleación citada a las aleaciones para forja 6xxx y en consonancia con el exhaustivo estudio bibliográfico realizado debe suponerse que el AlSi7Mg0,3 ST6 ofrece unas características de tenacidad similares y que es resistente a atmósferas de hidrógeno secas. Además, no hay constatadas ningunas desventajas con respecto a las fundiciones de acero ni las fundiciones dúctiles.

Las buenas propiedades mecánicas, anticorrosivas y para el mecanizado de la aleación AlSi7Mg0,3-S/K-T6 convierten a este material en una alternativa atractiva a los materiales de acero, hierro fundido y también cobre, utilizados en equipos de regulación de presión de gas para hidrógeno seco con presiones de hasta 16 bares.

AQUISGRÁN, 4 DE SEPTIEMBRE DE 2019,

Prof. Univ. Dr.-Ing. Daniela Zander

POR SU SERVICIO



**Head of Sales & Marketing
Franz Feichtner**

Phone: +43 (0) 7227 / 211-17
E-Mail: f.feichtner@medenus.de



**In-House Sales
Maika Schmidt**

Phone: +49 (0) 2761 / 82788-11
E-Mail: m.schmidt@medenus.de



**In-House Sales
Stefanie Müller**

Phone: +49 (0) 2761 / 82788-13
E-Mail: s.mueller@medenus.de



**Field Sales Germany
Jörg Pflugner**

Mobile: +49 (0) 170 635 5309
E-Mail: j.pflugner@medenus.de



**In-House Sales
Jan Arens**

Phone: +49 (0) 2761 / 82788-20
E-Mail: j.arenst@medenus.de

MEDENUS Gas-Druckregeltechnik GmbH

Saßmicker Hammer 40 · D-57462 Olpe
Phone: +49 (0)2761 82788-0
E-Mail: info@medenus.de