

Donde los materiales convencionales no llegan Construcciones de cerámica técnica

Por el ingeniero (FH) Hermann Bertsch y el ingeniero técnico (FH) Klaus Wolf
Revisión de 2004

Las exigencias de los técnicos de mayores prestaciones, mayor durabilidad y de menores costes de mantenimiento se han incrementado de tal forma que los límites de los materiales convencionales empleados en la fabricación de maquinaria, con frecuencia, se ven sobrepasados. Es aquí donde los materiales cerámicos ofrecen nuevas perspectivas al constructor para solucionar problemas.

Como ejemplo de las múltiples aplicaciones de la cerámica en cada una de las ramas industriales se exponen a continuación algunos ejemplos en el ámbito de la industria de la maquinaria y la industria química, así como los criterios requeridos para su construcción.

Propiedades de la cerámica como

- altas resistencias mecánicas, también a temperaturas altas
- buena resistencia al cambio de temperaturas
- excepcional resistencia química
- gran dureza y resistencia al desgaste
- peso específico bajo

ofrecen al constructor la posibilidad de construir elementos mecánicos que cumplen sus funciones, aún bajo condiciones extremas, fuera del alcance de los materiales convencionales.

Conceptos prácticos y teóricos de las cerámicas técnicas

En los últimos tiempos, junto a la cerámica de óxido de aluminio (Al_2O_3), conocida desde hace mucho tiempo y ya imprescindible en muchos campos, el desarrollo del óxido de circonio (ZrO_2), entre las cerámicas oxídicas, y el desarrollo del carburo de silicio (SiC) y del nitruro de silicio (Si_3N_4), entre las cerámicas no oxídicas, han experimentado un desarrollo muy importante dentro de los materiales cerámicos para



ingeniería.

Si comparamos el tiempo en que surgió lo que en la industria de la transformación de metales se conoció como "la clave del acero" con el estado actual de desarrollo de la cerámica, nos percataremos de que sólo estamos en el principio. Los conocimientos actuales sobre la cerámica sólo suponen un pequeño paso en el camino hacia la cerámica calculable. Los científicos de la industria y de la investigación están trabajando intensamente en estas tareas.

La evaluación de toda la experiencia adquirida por medio de ensayos y la elaboración de una normativa unificada y de unos principios de cálculo precisos, constituyen un requisito

necesario para poder comprender las cerámicas, tanto desde el punto de vista teórico como práctico. Hoy en día ya se puede calcular por medio de elementos finitos las cerámicas en estados de carga con gran exactitud. Debido a la baja densidad del material, los componentes cerámicos son bastante más ligeros, si se comparan con los de acero; las fuerzas estáticas y dinámicas son menores. Esto significa, por ejemplo, que en caso de componentes grandes en movimiento, se pueden redimensionar considerablemente a la baja los accionamientos requeridos.

El hecho de que la cerámica no presente una porosidad abierta y de que esté formada por una estructura de cristales finos, permite que en el acabado se logren unas superficies altamente pulidas con unos valores de rugosidad de hasta $0,01\mu$.

La extrema dureza (casi como la del diamante) es una de las propiedades que le confiere una extraordinaria resistencia al desgaste a las cerámicas.

La resistencia a la compresión es uno de los criterios que explican su superioridad respecto de otros materiales. Siempre que sea posible debería aprovecharse la gran resistencia a la compresión de las cerámicas en las construcciones, es decir, compensar las fuerzas de tracción, de flexión o de torsión

en las piezas de trabajo mediante la creación de tensiones internas, originadas al pretensionar el material (por ejemplo por interferencia). Sobre todo en las nuevas cerámicas se ha desarrollado una resistencia a los esfuerzos de tracción y flexión que alcanzan prácticamente los valores del acero.

Evitar los cambios de temperatura extremos

Los cambios de temperatura extremos que surgen, por ejemplo, al sumergir en fluidos, deben evitarse en los componentes cerámicos. El cambio de temperatura admisible dependerá de la geometría del componente. Los componentes de geometría sencilla de, por ejemplo, Si_3N_4 o de ZrO_2 ya han superado sin problemas choques térmicos de Δt 500 °C.

En la actualidad, además de la resistencia a la rotura por flexión, también se tienen en cuenta el factor de intensidad de tensión crítica K_{CI} y la denominada estadística Weibull para realizar el cálculo de los componentes cerámicos a utilizar.

Un criterio importante en la tecnología de uniones bajo la influencia de temperatura para la construcción es el coeficiente de dilatación térmica lineal α . Como ejemplo, y en concreto en la tecnología de motores, el óxido de circonio (empleado en combinación con metales, a los

que se une bien por interferencia, bien mediante elementos de fijación) ha dado excelentes resultados, debido a su alto coeficiente de dilatación. La buena resistencia química de las cerámicas frente a los ácidos, a los alcalís y a las sales fundidas, permite su utilización en la fabricación de bombas, aunque también tiene aplicación en la industria metalúrgica. La alta resistencia eléctrica de la cerámica (excepto el SiC, y a temperaturas altas el ZrO_2) se aprovecha en la electrotecnia para aisladores.

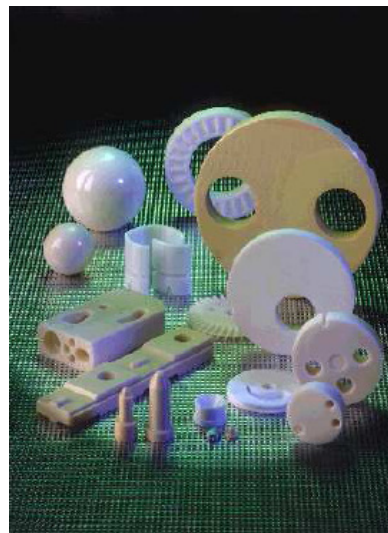
Los componentes para la industria química y de la maquinaria se fabrican principalmente mediante prensado seco y prensado isostático, más un subsiguiente "mecanizado en blando". El factor decisivo para la elección del procedimiento es el tamaño del componente, su geometría y la cantidad de componentes a fabricar.

Los componentes de precisión con tolerancias muy estrechas que cada vez se necesitan más en la actualidad para diversas aplicaciones, tienen que fabricarse realizando un mecanizado posterior con herramientas de diamantes tras la sinterización. Para ello se siguen los pasos ya usuales en el mecanizado de metales – cortado, esmerilado, lapeado, rectificado o pulido – pero siguiendo

procedimientos modificados a tal efecto

Estanqueidades de cerámica

En los últimos años, el retén axial ha venido a sustituir al prensaestopas como elemento de



Los componentes fabricados a partir de Al_2O_3 y ZrO_2 , p. ej. en bombas modernas y agitadores, garantizan una larga vida útil y escasas fugas. Fotografía: Friatec AG

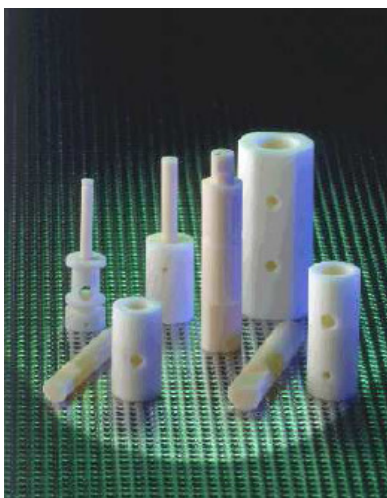
estanqueidad para los ejes rotativos. En las bombas modernas y en los agitadores, el retén frontal garantiza una larga vida útil y escasas fugas. Hoy en día los retenes cerámicos se fabrican a partir del Al_2O_3 y del ZrO_2 .

Propiedad	Unidad	Al_2O_3		ZrO_2			SiC	Si_3N_4
		F99D	F99,7	FZM	FZY	FZM/K	SiC 198	HP 79
Densidad	g/cm^3	3,7 – 3,8	3,9 – 3,95	5,5 – 5,8	5,5 – 5,8	6,0 – 6,1	3,1	3,2
Dureza (Knoop, 100g)	N/mm^2	20 000	23 000	17 000	17 000	18 000	21 000	17 000
Resist. a la compresión	N/mm^2	3000	3500	1800	2000	2200	1200	3000
Resist. a la rotura por flexión	N/mm^2	300	350	450	350	800	350	750
Módulo de elasticidad	GP a	350	380	180	165	200	330	320
Módulo WEIBULL	m	>10	>10	>20	-	>15	>10	>20
Número Poisson	-	0,22	0,22	0,3	0,3	0,3	0,2	0,26
Porosidad abierta	%	0	0	0	0	0	>1	0
Temp. máx. de funcionamiento	°C	1700	1950	900	900	1500	1400	1400
Coeficiente de dilatación	$10^{-6}/\text{K}$	8,5	8,5	10	10	10,5	4,4	3,2
Calor específico	J/kgK	900	900	400	400	400	900	800
Conductibilidad térmica	W/mK	25	30	2,5	2,5	2,5	90	40
Resistencia específica	Ohm cm	10^{14}	10^{14}	10^{10}	10^{10}	10^{10}	10^{-1}	10^{14}
Color		blanco	blanco	amarillo	Crema	blanco	negro	Negro

Todos los valores se refieren a una temperatura de 20°C

Respecto a los materiales tradicionales, estos materiales tienen la ventaja de tener una alta resistencia frente a todos las sustancias químicas orgánicas e inorgánicas.

La fijación de las arandelas se realiza mediante la sujeción, la embutición y también mediante encastres con juego y antirrotación. Dado que los mecanizados específicos, y por tanto la alta calidad de acabado superficial, sólo son requeridos en las superficies de cierre (valor de rugosidad Ra entre 0,1 y 0,3µ, planeidad 0,0006 mm), estas piezas pueden fabricarse de modo rentable. Además de las conocidas arandelas DIN estándar, en caso de requisitos muy exigentes, se pueden fabricar medidas especiales, según los deseos del cliente. Las bolas de precisión de cerámica, por ejemplo, se emplean hoy en día como cierres de válvulas, en bombas de vacío, en rodamientos de bolas, para calibrado de precisión, para aislamiento y como bolas de cierre en las válvulas de bola. Las bolas son antimagnéticas y se distinguen sobre todo por su gran resistencia química. Mediante su micropulido superficial se reduce su coeficiente de fricción a valores mínimos. La tolerancia en diámetro, la esfericidad y la rugosidad superficial, se miden en las bolas más pequeñas en valores de µ, con lo cual se logra una estanqueidad impecable en el sistema de válvulas. Gracias a la reducida densidad de los



Pistones y émbolos de cerámica

materiales cerámicos (aprox. 1/2 de la del acero; 1/4 de la de los

metales duros) estas bolas reaccionan considerablemente más rápido en el sistema hidráulico. Los pistones y émbolos de cerámica se emplean a menudo en las bombas dosificadoras y de alta presión allí donde los materiales convencionales no están a la altura de las exigencias requeridas para solventar los problemas de corrosión y abrasión surgidos. La estanqueidad entre pistón y caja se realiza por medio de prensaestopas o juntas. Al objeto de mantener la fricción y el desgaste en niveles lo más bajos posibles, se pulen las superficies con un valor de rugosidad RA ≤ 0,3µ. La fijación del pistón, en caso de diámetros grandes, se lleva a cabo mediante el pegado o fijación a un soporte metálico. En caso de diámetros más reducidos la cerámica se ajusta por interferencia en el soporte metálico. También es posible un apriete radial o axial.

Los rodamientos precisan funcionamiento suave

En la mayor parte de las aplicaciones el líquido bombeado actúa simultáneamente como lubricante. Los líquidos de alta corrosión (ácidos, alcalís) o los sólidos abrasivos en el medio (materiales no solubles como la arena, la cal, el óxido, la sal, etc. no pueden afectar las cerámicas, al contrario que ocurre con los metales.

Los casquillos protectores de los ejes se colocan para evitar un desplazamiento de la junta de estanqueidad. La estanqueidad hacia el eje se lleva a cabo mediante juntas planas y apriete axial. Los rodamientos, preferentemente, se encajan a presión o por interferencia. También es posible una protección adicional antigiro por medio de un pasador.

Al objeto de lograr en los rodamientos un funcionamiento estable y reducir el desgaste de empaquetadura o de las juntas en los asientos de los ejes, se tiene que aplicar un acabado lo más fino posible a las superficies deslizantes. No obstante las propiedades de funcionamiento en seco del Al₂O₃ son limitadas; el ZrO₂ tiene unas propiedades de

funcionamiento críticas relativamente buenas.

Hoy en día, en medios muy agresivos con temperaturas altas de hasta 700°C los rodamientos de bolas de Si₃N₄ han dado buen resultado. Incluso en situaciones de engrasado insuficiente, elevado régimen de giro y cargas soportadas, estos rodamientos gozan en la práctica de una excelente vida útil.

Amplia gama de componentes cerámicos

A la amplia gama de componentes cerámicos pertenecen también los dosificadores, los elementos de guiado, así como gran cantidad de aplicaciones específicas que son difíciles de clasificar bajo un concepto genérico. Para la fijación de la cerámica a otro elemento se pueden utilizar prácticamente todos los elementos de unión, a excepción de la soldadura, eso sí con una ejecución modificada a tal efecto. En la actualidad al usuario cada vez le resulta más fácil tomar la decisión de emplear la cerámica, ya que las excelentes cualidades físicas de las cerámicas incrementan la vida útil, y por tanto, el valor de su producto final.

Publicado en: Konstruktion & Elektronik; mayo de 1985 (Revisión 2004).

Información en España y Portugal:

Glynwed Pipe Systems Ibérica S.L.U.

Jesús Resa Uceda

Jefe Producto Cerámica Técnica FRIALIT® - DEGUSIT®

Plaza Castilla nº 3, 10º A

E- 28046 Madrid

Tel. ☎ +34 913 449 800

Fax. ☎ +34 914 045 824

Móvil. ☎ +34 609 781538

Email: ✉ jesus.resa@glynwed.es