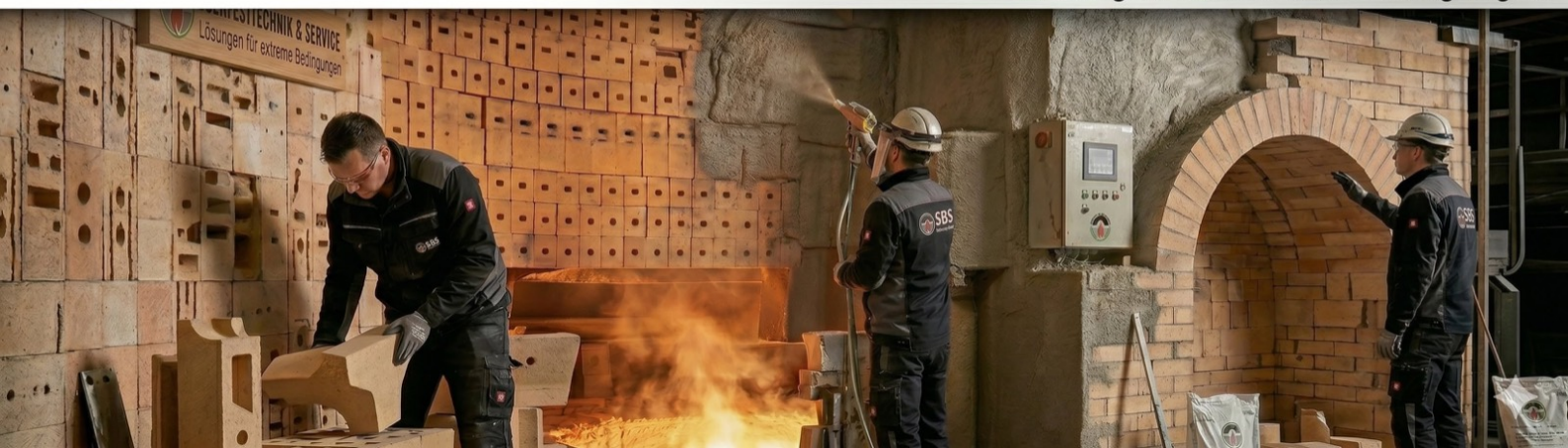




GUÍA DEFENSA · 12 MIN

Procesos de alta temperatura en la industria de defensa

Por qué la tecnología de refractarios es imprescindible en la industria de defensa: metalurgia, protección térmica y sistemas energéticos en el contexto de defensa.

Metalurgia en el contexto de defensa

La fabricación de material de defensa impone las máximas exigencias a los procesos metalúrgicos. Las aleaciones de acero de blindaje, los materiales de alto rendimiento para motores y los materiales con optimización balística se producen en procesos de fusión, colada y tratamiento térmico que requieren temperaturas superiores a 1600 °C. Los revestimientos refractarios de hornos de arco, hornos de inducción y hornos de vacío deben ser altamente resistentes no solo desde el punto de vista térmico, sino también químico: las escorias agresivas y las aleaciones especiales atacan los materiales refractarios convencionales con mucha más intensidad que en la producción civil de acero.

- Acero de blindaje y acero de protección balística: fusión y colada a más de 1650 °C en hornos de arco con revestimiento refractario básico
- Aleaciones para motores (base níquel): fusión por inducción en vacío (VIM) con crisoles de óxido de aluminio u óxido de magnesio
- Tratamiento térmico: hornos continuos y hornos de cámara para temple y revenido, temple y recocido de eliminación de tensiones de componentes críticos para la seguridad
- Fabricación aditiva: la atomización de polvos metálicos para impresión 3D exige procesos de fusión de alta pureza con revestimientos de crisol especiales
- Fabricación de munición: procesos de colada para vainas de proyectil y penetradores con estructuras metalográficas definidas

Nota: Requisitos de calidad comparados — Mientras que en la producción civil de acero son aceptables tasas de rechazo del 1–2 %, en la metalurgia de defensa rige la tolerancia cero a defectos. Cualquier desviación en el revestimiento refractario, como una inclusión procedente de material refractario erosionado, puede provocar el fallo del material en condiciones de servicio. Por ello, la trazabilidad y la documentación de lotes son obligatorias también para los materiales refractarios.

Protección térmica y sistemas de escudo térmico

La protección térmica es un campo tecnológico propio en la industria de defensa. Desde los escudos térmicos de los misiles y los sistemas de escape de los vehículos blindados hasta el aislamiento térmico de los sistemas de propulsión navales, en todos los casos en que se alcanzan temperaturas que superan la capacidad de los materiales convencionales se emplean materiales refractarios. Los requisitos van mucho más allá de los revestimientos estáticos de hornos: la resistencia al choque térmico, el bajo peso y la resistencia a vibraciones y aceleraciones son criterios de selección decisivos.

- Misiles y vehículos de reentrada: materiales ablativos de protección térmica a base de fibra de carbono y materiales compuestos cerámicos
- Sistemas de escape de vehículos blindados: los revestimientos refractarios deben soportar temperaturas superiores a 900 °C con vibraciones simultáneas
- Propulsión naval: las cámaras de combustión de turbinas de gas y los conductos de escape de fragatas y corbetas requieren materiales aislantes resistentes a altas temperaturas
- Motores cohete: revestimientos de garganta de tobera de grafito, wolframio o compuestos de matriz cerámica (CMC)

Nota: Aspecto de doble uso de los materiales de protección térmica — Muchos materiales de alta temperatura para protección térmica están sujetos al Reglamento de doble uso de la UE (UE 2021/821). Los compuestos cerámicos reforzados con fibra, determinadas calidades de grafito y las cerámicas de alto rendimiento figuran en el anexo I. Por ello, los proveedores deben conocer sus obligaciones de control de exportaciones y establecer procesos internos de cumplimiento normativo (compliance).

Sistemas energéticos y tecnología de propulsión

Los sistemas de armas y plataformas modernos dependen de sistemas energéticos potentes. Las turbinas de gas de los carros de combate, la propulsión naval y las unidades de potencia auxiliar de las aeronaves generan temperaturas extremas que requieren revestimientos refractarios, materiales para cámaras de combustión y barreras térmicas. La evolución hacia las armas de energía dirigida (DEW, Directed Energy Weapons) y las tecnologías hipersónicas endurece aún más los requisitos de gestión térmica.

- Turbinas de gas (MTU, Rolls-Royce): los recubrimientos de barrera térmica (TBC, Thermal Barrier Coatings) a base de óxido de circonio estabilizado con itrio protegen los álabes de turbina a más de 1300 °C
- Armas de energía dirigida: los sistemas de refrigeración y el apantallamiento térmico de los láseres de alta energía requieren materiales con una conductividad térmica extremadamente baja
- Tecnología hipersónica: los materiales de la ojiva y de los bordes de ataque deben soportar temperaturas superiores a 2000 °C con cargas aerodinámicas simultáneas
- Suministro energético de campamentos: sistemas de combustión móviles y aprovechamiento del calor residual con revestimiento refractario

Nota: Ventaja tecnológica gracias a la investigación de materiales — El dominio de los procesos de alta temperatura es una ventaja tecnológica estratégica. Los países con capacidad propia para fabricar cerámicas de ultra alta temperatura (UHTC), como el carburo de hafnio y el diboruro de circonio, tienen una ventaja decisiva en el desarrollo de armas hipersónicas y vehículos de reentrada.

Ensayos y aseguramiento de la calidad

Los materiales refractarios en el contexto de defensa están sujetos a requisitos de ensayo y documentación más estrictos que en la industria civil. El aseguramiento de la calidad no abarca solo el ensayo de los materiales (resistencia a la compresión, porosidad, conductividad térmica), sino también la trazabilidad completa de las materias primas, la liberación de lotes por parte del cliente y el cumplimiento de las especificaciones militares.

-

First Article Inspection (FAI): inspección de primera muestra según AS9102 para cada nuevo producto refractario en el contexto de defensa

- Trazabilidad de lotes: documentación completa desde la materia prima hasta el material refractario instalado, conforme a AQAP 2110
- Ensayos no destructivos (END): ultrasonidos, rayos X y termografía para evaluar la integridad del revestimiento una vez instalado
- Simulación ambiental: ciclos térmicos, ensayos de vibración y resistencia a la corrosión en condiciones de servicio simuladas

Nota: Requisitos AQAP para proveedores — Las publicaciones aliadas de aseguramiento de la calidad de la OTAN (AQAP, Allied Quality Assurance Publications) definen los requisitos de calidad para los proveedores de la industria de defensa. La AQAP 2110 (basada en ISO 9001) es el requisito mínimo. Para los proveedores que realizan sus propios ensayos se aplica además la AQAP 2120. Su cumplimiento lo supervisan los servicios de inspección de calidad de la Bundeswehr (GüPrSt, Güteprüfstellen).

Tecnologías de futuro y tendencias

La industria de defensa invierte masivamente en tecnologías de futuro que requieren, todas ellas, procesos de alta temperatura. Desde el Future Combat Air System (FCAS) y los misiles hipersónicos hasta los nuevos conceptos de blindaje, las exigencias a la tecnología de refractarios y a la gestión térmica seguirán aumentando. Esto abre oportunidades de negocio a largo plazo para los proveedores especializados.

- FCAS/NGWS: nueva generación de materiales para motores con requisitos de baja observabilidad (stealth) y temperaturas de servicio más altas
- Fabricación aditiva: impresión 3D de componentes refractarios para prototipos y microseries, que acorta los ciclos de desarrollo de años a meses
- Compuestos de matriz cerámica (CMC): más ligeros que el metal y más resistentes a la temperatura, un cambio de paradigma en la tecnología de motores
- Reciclaje de tierras raras: procesos de alta temperatura para recuperar materias primas estratégicas de sistemas de armas fuera de servicio

Preguntas frecuentes

¿Qué materiales refractarios se emplean con más frecuencia en la industria de defensa?

Los materiales refractarios más habituales son los ladrillos y masas de alta alúmina ($Al_2O_3 > 70\%$) para hornos de fusión, los productos a base de óxido de magnesio para revestimientos básicos de hornos, el carburo de silicio para la protección contra el desgaste y los materiales a base de óxido de circonio para recubrimientos de barrera térmica. Para aplicaciones extremas se emplean también grafito, wolframio y cerámicas de ultra alta temperatura (UHTC).

¿Qué certificaciones necesita un proveedor de refractarios para la industria de defensa?

El requisito mínimo es la ISO 9001 como sistema de gestión de la calidad básico. Para el suministro directo a grupos de defensa o a la Bundeswehr (Fuerzas Armadas alemanas) se exige además la AQAP 2110 (norma de calidad de la OTAN). Según el acceso a información, puede ser necesario un procedimiento de habilitación de seguridad (Ü1 o Ü2). Para la exportación se requieren conocimientos del Reglamento de doble uso y de la Kriegswaffenkontrollgesetz (KrWaffKontrG, Ley alemana de control de armas de guerra).

¿Difieren los requisitos de los materiales refractarios en defensa respecto a la industria civil?

Sí, considerablemente. En defensa rigen tolerancias más estrechas, trazabilidad completa, liberación de lotes por parte del cliente y documentación conforme a las normas AQAP. Los materiales en sí suelen ser idénticos, pero el aseguramiento de la calidad, la profundidad de los ensayos y las obligaciones de acreditación son mucho más amplios.

Hablemos de su proyecto

Respuesta en 24 horas en días laborables.

info@sbs-rs.de

+49 89 541 960 209

Leer en línea: www.sbs-rs.de/defense-industrie/ratgeber/hochtemperaturprozesse-ruestungsindustrie