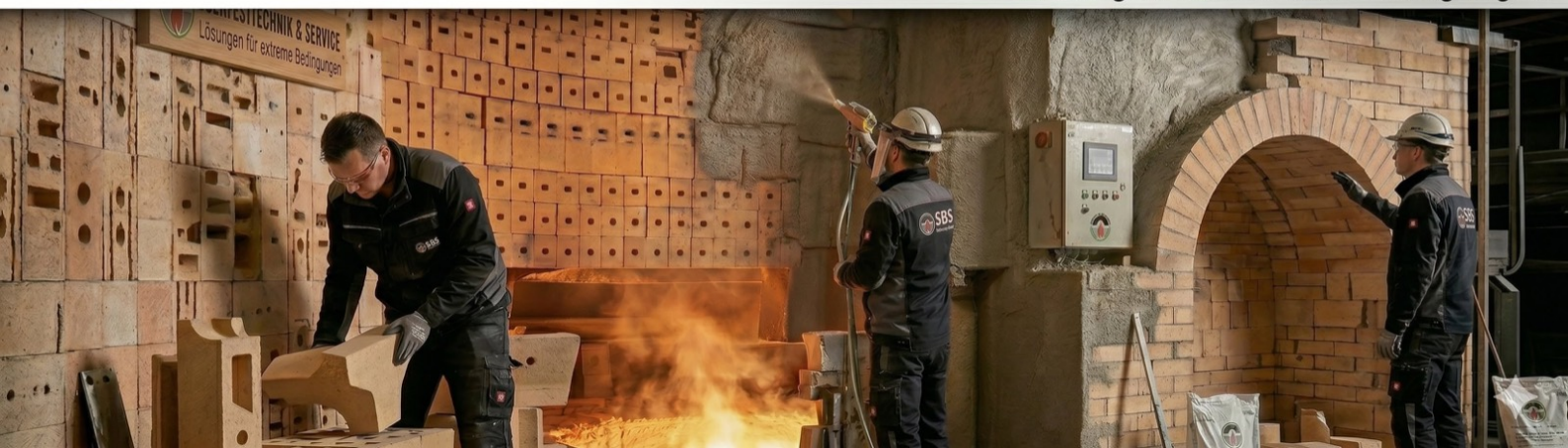




GUIDA DIFESA · 12 MIN

Processi ad alta temperatura nell'industria della difesa

Perché la tecnologia dei refrattari è indispensabile nell'industria della difesa: metallurgia, protezione termica e sistemi energetici nel contesto della difesa.

La metallurgia nel contesto della difesa

La produzione di materiali per la difesa pone requisiti elevatissimi ai processi metallurgici. Leghe di acciaio da corazzatura, materiali ad alte prestazioni per motori e materiali ottimizzati dal punto di vista balistico vengono prodotti in processi di fusione, colata e trattamento termico che richiedono temperature superiori a 1.600 °C. I rivestimenti refrattari di forni ad arco, forni a induzione e forni sottovuoto devono essere altamente resistenti non solo dal punto di vista termico ma anche chimico: scorie aggressive e leghe speciali attaccano i materiali refrattari convenzionali in misura molto maggiore rispetto alla produzione civile di acciaio.

- Acciaio da corazzatura e acciaio per protezione balistica: fusione e colata a oltre 1.650 °C in forni ad arco con rivestimento refrattario basico
- Leghe per motori (a base di nichel): fusione a induzione sottovuoto (VIM) con crogioli in ossido di alluminio o ossido di magnesio
- Trattamento termico: forni continui e forni a camera per bonifica, tempra e distensione di componenti critici per la sicurezza
- Produzione additiva: l'atomizzazione di polveri metalliche per la stampa 3D richiede processi di fusione ad altissima purezza con rivestimenti speciali del crogiolo
- Produzione di munizioni: processi di colata per involucri di proiettili e penetratori con strutture metallografiche definite

Nota: Requisiti di qualità a confronto — Mentre nella produzione civile di acciaio sono accettabili tassi di scarto dell'1–2 %, nella metallurgia per la difesa vale la tolleranza zero ai difetti. Ogni anomalia nel rivestimento refrattario, ad esempio un'inclusione dovuta all'erosione del materiale refrattario, può causare il cedimento del materiale in condizioni d'impiego. La tracciabilità e la documentazione dei lotti sono quindi obbligatorie anche per i materiali refrattari.

Protezione termica e sistemi di scudo termico

Nell'industria della difesa la protezione termica è un campo tecnologico a sé stante. Dagli scudi termici dei missili ai sistemi di scarico dei veicoli corazzati fino all'isolamento termico dei sistemi di propulsione navale: ovunque si raggiungano temperature oltre la resistenza dei materiali convenzionali, si impiegano materiali refrattari. I requisiti vanno ben oltre i rivestimenti statici dei forni: resistenza agli shock termici, peso ridotto e resistenza a vibrazioni e accelerazioni sono criteri di selezione decisivi.

- Missili e veicoli di rientro: materiali ablativi di protezione termica a base di fibra di carbonio e compositi ceramici
- Sistemi di scarico di veicoli corazzati: i rivestimenti refrattari devono resistere a temperature superiori a 900 °C con contemporanea sollecitazione vibratoria
- Propulsione navale: camere di combustione delle turbine a gas e condotti di scarico di fregate e corvette richiedono materiali isolanti resistenti alle alte temperature
- Motori a razzo: rivestimenti della gola dell'ugello in grafite, tungsteno o compositi a matrice ceramica (CMC)

Nota: L'aspetto del duplice uso nei materiali di protezione termica — Molti materiali per alte temperature destinati alla protezione termica sono soggetti al regolamento UE sui beni a duplice uso (UE 2021/821). Compositi ceramici fibrorinforzati, determinate qualità di grafite e ceramiche ad alte prestazioni sono elencati nell'allegato I. I fornitori devono quindi conoscere i propri obblighi in materia di controllo delle esportazioni e istituire processi interni di compliance.

Sistemi energetici e tecnica di propulsione

I moderni sistemi d'arma e le piattaforme dipendono da sistemi energetici performanti. Le turbine a gas dei carri armati, le propulsioni navali e i motori ausiliari degli aeromobili generano temperature estreme che richiedono rivestimenti refrattari, materiali per camere di combustione e barriere termiche. Lo sviluppo di armi a energia diretta (Directed Energy Weapons, DEW) e di tecnologie ipersoniche rende ancora più stringenti i requisiti di gestione termica.

- Turbine a gas (MTU, Rolls-Royce): i Thermal Barrier Coatings (TBC) a base di ossido di zirconio stabilizzato con ittrio proteggono le pale delle turbine a oltre 1.300 °C
- Armi a energia diretta: i sistemi di raffreddamento e la schermatura termica dei laser ad alta energia richiedono materiali con conducibilità termica estremamente bassa
- Tecnologia ipersonica: i materiali per ogiva e bordi d'attacco devono resistere a temperature superiori a 2.000 °C con contemporanea sollecitazione aerodinamica
- Approvvigionamento energetico dei campi militari: sistemi di combustione mobili e recupero del calore di scarto con rivestimento refrattario

Nota: Vantaggio tecnologico grazie alla ricerca sui materiali — Il controllo dei processi ad alta temperatura è un vantaggio tecnologico strategico. I paesi con una capacità propria di produrre ceramiche per temperature ultraelevate (UHTC), come il carburo di afnio e il diboruro di zirconio, hanno un vantaggio decisivo nello sviluppo di armi ipersoniche e veicoli di rientro.

Prove e assicurazione qualità

Nel contesto della difesa i materiali refrattari sono soggetti a requisiti di prova e documentazione più severi rispetto all'industria civile. L'assicurazione qualità comprende non solo le prove tecniche sui materiali (resistenza a compressione, porosità, conducibilità termica), ma anche la tracciabilità completa delle materie prime, il rilascio dei lotti da parte del committente e il rispetto delle specifiche militari.

- First Article Inspection (FAI): ispezione del primo campione secondo AS9102 per ogni nuovo prodotto refrattario nel contesto della difesa
-

Tracciabilità dei lotti: documentazione completa dalla materia prima al materiale refrattario posato, conforme ad AQAP 2110

- Controlli non distruttivi (CND): ultrasuoni, raggi X e termografia per valutare l'integrità del rivestimento in opera
- Simulazione ambientale: cicli termici, prove di vibrazione e resistenza alla corrosione in condizioni d'impiego simulate

Nota: Requisiti AQAP per i fornitori — Le NATO Allied Quality Assurance Publications (AQAP) definiscono i requisiti di qualità per i fornitori dell'industria della difesa. AQAP 2110 (basata sulla ISO 9001) è il requisito minimo. Per i fornitori che eseguono prove proprie si applica inoltre AQAP 2120. Il rispetto dei requisiti è sorvegliato dagli uffici di controllo qualità della Bundeswehr (Güteprüfstellen, GüPrSt).

Tecnologie del futuro e tendenze

L'industria della difesa investe in modo massiccio in tecnologie del futuro che richiedono tutti i processi ad alta temperatura. Dal Future Combat Air System (FCAS) ai missili ipersonici fino ai nuovi concetti di corazzatura, i requisiti per la tecnologia dei refrattari e la gestione termica continueranno a crescere. Per i fornitori specializzati si aprono così opportunità di business a lungo termine.

- FCAS/NGWS: nuova generazione di materiali per motori per requisiti stealth e temperature di esercizio più elevate
- Produzione additiva: stampa 3D di componenti refrattari per prototipi e microserie, che riduce i cicli di sviluppo da anni a mesi
- Compositi a matrice ceramica (CMC): più leggeri del metallo e più resistenti alla temperatura, un cambio di paradigma nella tecnica dei motori
- Riciclo delle terre rare: processi ad alta temperatura per il recupero di materie prime strategiche da sistemi d'arma dismessi

Domande frequenti

Quali materiali refrattari si impiegano più spesso nell'industria della difesa?

I materiali refrattari più diffusi sono mattoni e masse ad alto tenore di allumina ($\text{Al}_2\text{O}_3 > 70\%$) per forni fusori, prodotti a base di ossido di magnesio per rivestimenti basici dei forni, carburo di silicio per la protezione antiusura e materiali a base di ossido di zirconio per i Thermal Barrier Coatings. Per le applicazioni estreme si impiegano anche grafite, tungsteno e ceramiche per temperature ultraelevate (UHTC).

Di quali certificazioni ha bisogno un fornitore di refrattari per l'industria della difesa?

Il requisito minimo è la ISO 9001 come sistema di gestione della qualità di base. Per la fornitura diretta a gruppi della difesa o alla Bundeswehr è richiesta inoltre la AQAP 2110 (standard di qualità NATO). A seconda dell'accesso alle informazioni può essere necessaria una procedura di tutela del segreto (nulla osta di sicurezza Ü1 o Ü2). Per l'esportazione è necessaria la conoscenza del regolamento sul duplice uso e del Kriegswaffenkontrollgesetz (KrWaffKontrG, legge tedesca sul controllo delle armi da guerra).

I requisiti per i materiali refrattari nella difesa differiscono da quelli dell'industria civile?

Sì, in modo considerevole. Nella difesa valgono tolleranze più strette, tracciabilità completa, rilascio dei lotti da parte del committente e documentazione secondo gli standard AQAP. I materiali in sé sono spesso identici, ma l'assicurazione qualità, la profondità delle prove e gli obblighi di documentazione sono molto più estesi.

Parliamo del suo progetto

Risposta entro 24 ore nei giorni lavorativi.

info@sbs-rs.de

+49 89 541 960 209

Leggi online: www.sbs-rs.de/defense-industrie/ratgeber/hochtemperaturprozesse-ruestungsindustrie