



GHID DEFENCE · 12 MIN DE CITIT

Procese de înaltă temperatură în industria de armament

De ce tehnica refractară este indispensabilă în industria de armament: metalurgie, protecție termică și sisteme energetice în contextul industriei de apărare.

Metalurgia în contextul armamentului

Fabricarea produselor de armament impune cele mai ridicate cerințe proceselor metalurgice. Aliajele de oțel pentru blindaje, materialele de înaltă performanță pentru motoare de aviație și materialele optimizate balistic sunt produse în procese de topire, turnare și tratament termic care necesită temperaturi de peste 1.600 °C. Căptușelile refractare din cuptoarele cu arc electric, cuptoarele cu inducție și cuptoarele cu vid trebuie să fie deosebit de rezistente nu doar termic, ci și chimic — zgurile agresive și aliajele speciale atacă materialele refractare convenționale considerabil mai puternic decât în producția civilă de oțel.

- Oțel pentru blindaje și oțel de protecție balistică: topire și turnare la peste 1.650 °C în cuptoare cu arc electric cu căptușeală refractară bazică
- Aliaje pentru motoare de aviație (pe bază de nichel): topire prin inducție în vid (VIM) cu creuzete din oxid de aluminiu sau oxid de magneziu
- Tratament termic: cuptoare continue și cuptoare cu cameră pentru îmbunătățire, călire și recoacere de detensionare a componentelor critice pentru securitate
- Fabricație aditivă: atomizarea pulberilor metalice pentru imprimarea 3D necesită procese de topire de înaltă puritate cu căptușeli speciale de creuzet
- Fabricarea muniției: procese de turnare pentru cămășile proiectilelor și penetratoare cu structuri metalografice definite

Observație: Cerințe de calitate în comparație — În timp ce în producția civilă de oțel rate de rebut de 1–2 % sunt acceptabile, în metalurgia de armament se aplică toleranțe de zero defecte. Orice abatere a căptușelii refractare — de exemplu o incluziune provenită din material refractar erodat — poate duce la cedarea materialului în condiții de utilizare. Trasabilitatea și documentarea șarjelor sunt de aceea obligatorii și pentru materialele refractare.

Protecția termică și sistemele de scut termic

Protecția termică reprezintă în industria de apărare un domeniu tehnologic de sine stătător. De la scuturile termice ale rachetelor, trecând prin sistemele de evacuare a gazelor la vehiculele blindate, până la izolația termică din sistemele de propulsie navale — pretutindeni unde apar temperaturi dincolo de capacitatea de solicitare a materialelor convenționale se utilizează materiale refractare. Cerințele depășesc cu mult căptușelile statice de cuptor: rezistența la șoc termic, greutatea redusă și rezistența la vibrații și accelerații sunt criterii de selecție decisive.

- Rachete și vehicule de reintrare: materiale ablativ de protecție termică pe bază de fibră de carbon și materiale compozite ceramice
- Sistemele de evacuare ale vehiculelor blindate: căptușelile refractare trebuie să reziste la temperaturi de peste 900 °C, concomitent cu solicitarea prin vibrații
- Propulsii navale: camerele de ardere ale turbinelor cu gaz și traseele de gaze arse de pe fregate și corvete necesită materiale izolante rezistente la temperaturi înalte
- Motoare de rachetă: căptușeli ale gâtului duzei din grafit, wolfram sau compozite cu matrice ceramică (CMC)

Observație: Aspectul dual-use al materialelor de protecție termică — Numeroase materiale de înaltă temperatură pentru protecția termică intră sub incidența Regulamentului UE privind produsele cu dublă utilizare (UE 2021/821). Materialele compozite cu fibre ceramice, anumite calități de grafit și ceramicile de înaltă performanță sunt listate în anexa I. Furnizorii trebuie așadar să își cunoască obligațiile de control al exporturilor și să implementeze procese interne de conformitate.

Sisteme energetice și tehnica propulsiei

Sistemele de armament și platformele moderne depind de sisteme energetice performante. Turbinele cu gaz din tancurile de luptă, propulsiile navale și motoarele auxiliare ale aeronavelor generează temperaturi extreme, care necesită căptușeli refractare, materiale pentru camere de ardere și bariere termice. Evoluția către Directed Energy Weapons (DEW) și tehnologiile hipersonice sporește suplimentar cerințele privind managementul termic.

- Turbine cu gaz (MTU, Rolls-Royce): Thermal Barrier Coatings (TBC) pe bază de oxid de zirconiu stabilizat cu ytriu protejează paletelile turbinei la peste 1.300 °C
- Directed Energy Weapons: sistemele de răcire și ecranarea termică pentru laserele de înaltă energie necesită materiale cu conductivitate termică extrem de scăzută
- Tehnologia hipersonică: materialele pentru vârful și bordurile de atac trebuie să reziste la temperaturi de peste 2.000 °C, concomitent cu solicitarea aerodinamică
- Alimentarea cu energie a taberelor de campanie: sisteme mobile de ardere și valorificarea căldurii reziduale cu căptușeală refractară

Observație: Avans tehnologic prin cercetarea materialelor — Stăpânirea proceselor de înaltă temperatură constituie un avans tehnologic strategic. Țările care dispun de capacitate proprie de fabricare a ceramicilor rezistente la temperaturi ultraînalte (UHTC), precum carbura de hafniu și diborura de zirconiu, dețin un avantaj decisiv în dezvoltarea armelor hipersonice și a vehiculelor de reintrare.

Testare și asigurarea calității

Materialele refractare din contextul armamentului sunt supuse unor cerințe de testare și documentare mai stricte decât în industria civilă. Asigurarea calității cuprinde nu doar verificarea tehnică a materialului (rezistență la compresiune, porozitate, conductivitate termică), ci și trasabilitatea completă a materiilor prime, eliberarea șarjelor de către beneficiar și respectarea specificațiilor militare.

- First Article Inspection (FAI): verificarea primului exemplar conform AS9102 pentru fiecare produs refractar nou în contextul industriei de apărare
-

Urmărirea șarjelor: documentare completă, de la materia primă până la materialul refractar montat — conform AQAP 2110

- Examinări nedistructive (END): ultrasunete, radiografie și termografie pentru evaluarea integrității căptușelii în stare montată
- Simulare de mediu: solicitare termică alternantă, testare la vibrații și rezistență la coroziune în condiții de utilizare simulate

Observație: Cerințele AQAP față de furnizori — NATO Allied Quality Assurance Publications (AQAP) definesc cerințele de calitate impuse furnizorilor din industria de apărare. AQAP 2110 (bazat pe ISO 9001) reprezintă cerința minimă. Pentru furnizorii care efectuează verificări proprii se aplică suplimentar AQAP 2120. Respectarea acestora este supravegheată de oficiile de control al calității ale Bundeswehr (Güteprüfstellen, GüPrSt).

Tehnologii de viitor și tendințe

Industria de apărare investește masiv în tehnologii de viitor, care necesită toate procese de înaltă temperatură. De la Future Combat Air System (FCAS), trecând prin rachetele hipersonice, până la noile concepte de blindaj — cerințele privind tehnica refractară și managementul termic vor continua să crească. Pentru furnizorii specializați se deschid astfel oportunități de afaceri pe termen lung.

- FCAS/NGWS: următoarea generație de materiale pentru motoare, destinată cerințelor stealth și temperaturilor de funcționare mai ridicate
- Fabricație aditivă: imprimarea 3D a componentelor refractare pentru prototipuri și serii foarte mici — scurtează ciclurile de dezvoltare de la ani la luni
- Compozite cu matrice ceramică (CMC): mai ușoare decât metalul, mai rezistente la temperatură — o schimbare de paradigmă în tehnica motoarelor
- Reciclarea pământurilor rare: procese de înaltă temperatură pentru recuperarea materiilor prime strategice din sisteme de armament scoase din uz

Întrebări frecvente

Care sunt materialele refractare cel mai frecvent utilizate în industria de armament?

Cele mai frecvente materiale refractare sunt cărămizile și masele cu conținut ridicat de alumină ($\text{Al}_2\text{O}_3 > 70\%$) pentru cuptoarele de topire, produsele pe bază de oxid de magneziu pentru căptușelile bazice de cuptor, carbura de siliciu pentru protecția la uzură și materialele pe bază de oxid de zirconiu pentru Thermal Barrier Coatings. Pentru aplicații extreme se utilizează și grafit, wolfram și ceramici pentru temperaturi ultraînalte (UHTC).

De ce certificări are nevoie un furnizor de produse refractare pentru industria de armament?

Cerința minimă este ISO 9001 ca sistem de management al calității de bază. Pentru livrarea directă către concernele de armament sau către Bundeswehr se solicită suplimentar AQAP 2110 (standardul de calitate NATO). În funcție de accesul la informații, poate fi necesară o procedură de autorizare de securitate (Ü1 sau Ü2). Pentru export sunt necesare cunoștințe privind Regulamentul dual-use și Kriegswaffenkontrollgesetz (KrWaffKontrG, legea germană privind controlul armelor de război).

Diferă cerințele privind materialele refractare din domeniul armamentului față de industria civilă?

Da, considerabil. În domeniul armamentului se aplică toleranțe mai strânse, trasabilitate completă, eliberarea șarjelor de către beneficiar și documentare conform standardelor AQAP. Materialele în sine sunt adesea identice, însă asigurarea calității, profunzimea verificărilor și obligațiile de documentare sunt semnificativ mai extinse.

Să discutăm despre proiectul dumneavoastră

Răspuns în 24 de ore în zilele lucrătoare.

info@sbs-rs.de**+49 89 541 960 209**Citiți online: **www.sbs-rs.de/defense-industrie/ratgeber/hochtemperaturprozesse-ruestungsindustrie**