



GUIDE DEFENCE · 12 MIN DE LECTURE

Les procédés à haute température dans l'industrie de l'armement

Pourquoi la technologie réfractaire est indispensable à l'industrie de l'armement : métallurgie, protection thermique et systèmes énergétiques dans le contexte de la défense.

La métallurgie dans le contexte de l'armement

La fabrication de matériels d'armement impose les exigences les plus élevées aux procédés métallurgiques. Les alliages d'acier de blindage, les matériaux à haute performance destinés aux turbomoteurs et les matériaux optimisés sur le plan balistique sont élaborés par des procédés de fusion, de coulée et de traitement thermique qui exigent des températures supérieures à 1 600 °C. Les garnissages réfractaires des fours à arc électrique, des fours à induction et des fours sous vide doivent donc présenter une résistance élevée non seulement thermique, mais aussi chimique : les laitiers agressifs et les alliages spéciaux attaquent les matériaux réfractaires conventionnels bien plus fortement que dans la production sidérurgique civile.

- Acier de blindage et acier de protection balistique : fusion et coulée à plus de 1 650 °C dans des fours à arc électrique à garnissage réfractaire basique
- Alliages pour turbomoteurs (base nickel) : fusion par induction sous vide (VIM) avec creusets en oxyde d'aluminium ou en oxyde de magnésium
- Traitement thermique : fours continus et fours à chambre pour la trempe et le revenu, la trempe et le recuit de détente de composants critiques pour la sécurité
- Fabrication additive : l'atomisation de poudres métalliques destinées à l'impression 3D exige des procédés de fusion de haute pureté avec des garnissages de creuset spécifiques
- Fabrication de munitions : procédés de coulée pour enveloppes de projectiles et pénétrateurs avec des structures métallurgiques définies

Remarque : Comparaison des exigences de qualité — Alors que des taux de rebut de 1 à 2 % sont acceptables dans la production sidérurgique civile, la métallurgie de l'armement applique une tolérance zéro défaut. Le moindre écart dans le garnissage réfractaire — par exemple une inclusion provenant d'un matériau réfractaire en cours d'érosion — peut entraîner une défaillance du matériau en conditions opérationnelles. La traçabilité et la documentation des lots sont donc également obligatoires pour les matériaux réfractaires.

Protection thermique et systèmes de bouclier thermique

La protection thermique constitue un domaine technologique à part entière dans l'industrie de la défense. Des boucliers thermiques des missiles aux systèmes d'échappement des véhicules blindés, en passant par l'isolation thermique des systèmes de propulsion navals : partout où apparaissent des températures dépassant la résistance des matériaux conventionnels, des matériaux réfractaires sont mis en œuvre. Les exigences vont bien au-delà de celles des garnissages de four statiques : la résistance aux chocs thermiques, la légèreté et la tenue aux vibrations et aux accélérations sont des critères de sélection déterminants.

- Missiles et véhicules de rentrée atmosphérique : matériaux de protection thermique ablatifs à base de fibre de carbone et de composites céramiques
- Systèmes d'échappement des véhicules blindés : les garnissages réfractaires doivent résister à des températures supérieures à 900 °C tout en supportant des sollicitations vibratoires
- Propulsion navale : les chambres de combustion de turbines à gaz et les circuits d'échappement des frégates et corvettes exigent des matériaux isolants résistant aux hautes températures
- Moteurs-fusées : garnissages de col de tuyère en graphite, en tungstène ou en composites à matrice céramique (CMC)

Remarque : Dimension à double usage des matériaux de protection thermique — De nombreux matériaux haute température destinés à la protection thermique relèvent du règlement européen sur les biens à double usage (UE 2021/821). Les composites à fibres céramiques, certaines qualités de graphite et les céramiques à haute performance figurent à l'annexe I. Les fournisseurs doivent donc connaître leurs obligations en matière de contrôle des exportations et mettre en place des processus de conformité internes.

Systèmes énergétiques et technique de propulsion

Les systèmes d'armes et les plateformes modernes dépendent de systèmes énergétiques performants. Les turbines à gaz des chars de combat, les propulsions navales et les groupes auxiliaires de puissance des aéronefs génèrent des températures extrêmes qui exigent des garnissages réfractaires, des matériaux de chambre de combustion et des barrières thermiques. L'évolution vers les armes à énergie dirigée (DEW) et les technologies hypersoniques accroît encore les exigences en matière de gestion thermique.

- Turbines à gaz (MTU, Rolls-Royce) : les revêtements de barrière thermique (TBC) à base de zircone stabilisée à l'yttrium protègent les aubes de turbine à plus de 1 300 °C
- Armes à énergie dirigée : les systèmes de refroidissement et le blindage thermique des lasers de haute énergie exigent des matériaux à conductivité thermique extrêmement faible
- Technologie hypersonique : les matériaux de pointe avant et de bord d'attaque doivent résister à des températures supérieures à 2 000 °C tout en subissant des charges aérodynamiques
- Alimentation énergétique des camps de campagne : systèmes de combustion mobiles et valorisation de la chaleur résiduelle avec garnissage réfractaire

Remarque : Avance technologique par la recherche sur les matériaux — La maîtrise des procédés à haute température constitue une avance technologique stratégique. Les pays disposant d'une capacité propre à produire des céramiques ultra-réfractaires (UHTC) telles que le carbure d'hafnium et le diborure de zirconium bénéficient d'un avantage décisif dans le développement d'armes hypersoniques et de véhicules de rentrée atmosphérique.

Contrôle et assurance qualité

Dans le contexte de l'armement, les matériaux réfractaires sont soumis à des exigences de contrôle et de documentation plus strictes que dans l'industrie civile. L'assurance qualité comprend non seulement les essais sur matériaux (résistance à la compression, porosité, conductivité thermique), mais aussi la traçabilité intégrale des matières premières, la libération des lots par le donneur d'ordre et le respect des spécifications militaires.

- First Article Inspection (FAI) : contrôle du premier article selon AS9102 pour chaque nouveau produit réfractaire dans le contexte de la défense
- Suivi des lots : documentation intégrale de la matière première jusqu'au matériau réfractaire installé — conforme à AQAP 2110
- Contrôle non destructif (CND) : ultrasons, radiographie et thermographie pour évaluer l'intégrité du garnissage en place
- Simulation environnementale : sollicitations thermiques alternées, essais de vibration et résistance à la corrosion dans des conditions opérationnelles simulées

Remarque : Exigences AQAP applicables aux fournisseurs — Les NATO Allied Quality Assurance Publications (AQAP) définissent les exigences de qualité applicables aux fournisseurs de l'industrie de la défense. AQAP 2110 (fondée sur ISO 9001) constitue l'exigence minimale. Pour les fournisseurs réalisant leurs propres contrôles, AQAP 2120 s'applique en complément. Le respect de ces exigences est surveillé par les services de contrôle qualité de la Bundeswehr (Bundeswehr-Güteprüfstellen, GüPrSt).

Technologies d'avenir et tendances

L'industrie de la défense investit massivement dans des technologies d'avenir qui reposent toutes sur des procédés à haute température. Du Future Combat Air System (FCAS) aux missiles hypersoniques en passant par les nouveaux concepts de blindage, les exigences envers la technique réfractaire et la gestion thermique continueront de croître. Cela ouvre des perspectives commerciales durables aux fournisseurs spécialisés.

- FCAS/NGWS : nouvelle génération de matériaux pour turbomoteurs répondant aux exigences de furtivité et à des températures de service plus élevées
- Fabrication additive : impression 3D de composants réfractaires pour prototypes et très petites séries — les cycles de développement passent de plusieurs années à quelques mois
- Composites à matrice céramique (CMC) : plus légers que le métal, plus résistants à la température — un changement de paradigme dans la technique des turbomoteurs
- Recyclage des terres rares : procédés à haute température pour récupérer des matières premières stratégiques issues de systèmes d'armes déclassés

Questions fréquentes

Quels matériaux réfractaires sont les plus utilisés dans l'industrie de l'armement ?

Les matériaux réfractaires les plus courants sont les briques et masses à haute teneur en alumine ($\text{Al}_2\text{O}_3 > 70\%$) pour les fours de fusion, les produits à base d'oxyde de magnésium pour les garnissages de four basiques, le carbure de silicium pour la protection contre l'usure et les matériaux à base d'oxyde de zirconium pour les revêtements de barrière thermique. Pour les applications extrêmes, on utilise également le graphite, le tungstène et les céramiques ultra-réfractaires (UHTC).

De quelles certifications un fournisseur de réfractaires a-t-il besoin pour l'industrie de l'armement ?

L'exigence minimale est la norme ISO 9001 comme système de management de la qualité de base. Pour la fourniture directe à des groupes d'armement ou à la Bundeswehr, AQAP 2110 (norme qualité de l'OTAN) est exigée en complément. Selon l'accès aux informations, une procédure d'habilitation de sécurité (Ü1 ou Ü2) peut être nécessaire. Pour l'exportation, la connaissance du règlement sur les biens à double usage et du

KrWaffKontrG (loi allemande sur le contrôle des armes de guerre) est indispensable.

Les exigences envers les matériaux réfractaires diffèrent-elles entre l'armement et l'industrie civile ?

Oui, considérablement. Dans l'armement s'appliquent des tolérances plus étroites, une traçabilité intégrale, une libération des lots par le donneur d'ordre et une documentation conforme aux standards AQAP. Les matériaux eux-mêmes sont souvent identiques, mais l'assurance qualité, la profondeur des contrôles et les obligations de preuve sont nettement plus étendues.

Parlons de votre projet

Réponse sous 24 heures les jours ouvrés.

info@sbs-rs.de

+49 89 541 960 209

Site en ligne : www.sbs-rs.de/defense-industrie/ratgeber/hochtemperaturprozesse-ruestungsindustrie