



GIDS DEFENCE · 12 MIN LEESTIJD

Hogetemperatuurprocessen in de defensie-industrie

Waarom vuurvaste technologie onmisbaar is in de defensie-industrie: metallurgie, thermische bescherming en energiesystemen in de defensiecontext.

Metallurgie in de defensiecontext

De productie van defensiegoederen stelt de hoogste eisen aan metallurgische processen.

Pantserstaallegeringen, hoogwaardige materialen voor straalmotoren en ballistisch geoptimaliseerde materialen worden vervaardigd in smelt-, giet- en warmtebehandelingsprocessen die temperaturen van meer dan 1.600 °C vereisen. Vuurvaste bekledingen in vlamboogovens, inductieovens en vacuümovens moeten daarbij niet alleen thermisch, maar ook chemisch uiterst bestendig zijn — agressieve slakken en speciale legeringen tasten conventionele vuurvaste materialen aanzienlijk sterker aan dan in de civiele staalproductie.

- Pantserstaal en ballistisch beschermingsstaal: smelten en gieten bij meer dan 1.650 °C in vlamboogovens met basische vuurvaste bekleding
- Straalmotorlegeringen (nikkelbasis): vacuüm-inductiesmelten (VIM) met aluminiumoxide- of magnesiumoxidesmeltekroezen
- Warmtebehandeling: doorloopovens en kamerovens voor veredelen, harden en spanningsarm gloeien van veiligheidskritische componenten
- Additive manufacturing: verstuuving van metaalpoeders voor 3D-printen vereist zuivere smeltprocessen met speciale smeltkroesbekledingen
- Munitieproductie: gietprocessen voor projectielhulzen en penetrators met gedefinieerde microstructuren

Let op: Kwaliteitseisen in vergelijking — Terwijl in de civiele staalproductie uitvalpercentages van 1–2 % acceptabel zijn, gelden in de defensiemetallurgie nultolerantie-eisen. Elke afwijking in de vuurvaste bekleding — bijvoorbeeld een insluitel door eroderend vuurvast materiaal — kan onder inzetomstandigheden leiden tot materiaalfalen. Traceerbaarheid en chargedocumentatie zijn daarom ook voor vuurvaste materialen dwingend voorgeschreven.

Thermische bescherming en hitteschildsystemen

Thermische bescherming is in de defensie-industrie een zelfstandig technologieveld. Van hitteschilden in raketten en projectielen tot uitlaatsystemen in gepantserde voertuigen en warmte-isolatie in maritieme voortstuwingssystemen — overal waar temperaturen optreden die de belastbaarheid van conventionele materialen overstijgen, worden vuurvaste materialen ingezet. De eisen gaan daarbij veel verder dan die aan statische ovenbekledingen: thermische schokbestendigheid, laag gewicht en bestendigheid tegen trillingen en

versnelling zijn doorslaggevende selectiecriteria.

- Raketten en terugkeervoertuigen: ablatieve hittebeschermingsmaterialen op basis van koolstofvezel en keramische composieten
- Uitlaatsystemen van gepantserde voertuigen: vuurvaste bekledingen moeten temperaturen van meer dan 900 °C bij gelijktijdige trillingsbelasting weerstaan
- Scheepsvoortstuwing: gasturbineverbrandingskamers en uitlaatrajecten in fregatten en korvetten vereisen hittebestendige isolatiematerialen
- Raketmotoren: bekledingen van de straalpijphals uit grafiet, wolfram of keramische matrixcomposieten (CMC)

Let op: Dual-use-aspect van thermische beschermingsmaterialen — Veel hogetemperatuurmaterialen voor thermische bescherming vallen onder de EU-dual-useverordening (EU) 2021/821. Keramische vezelcomposieten, bepaalde grafietkwaliteiten en hoogwaardige keramiek staan vermeld in bijlage I. Toeleveranciers moeten daarom hun exportcontroleverplichtingen kennen en interne complianceprocessen inrichten.

Energiesystemen en aandrijftechniek

Moderne wapensystemen en platformen zijn afhankelijk van krachtige energiesystemen. Gasturbines in gevechtstanks, scheepsvoortstuwing en hulpaggregaten in luchtvaartuigen genereren extreme temperaturen die vuurvaste bekledingen, verbrandingskamermaterialen en thermische barrières vereisen. De ontwikkeling naar Directed Energy Weapons (DEW) en hypersonische technologieën verscherpt de eisen aan het thermisch management nog verder.

- Gasturbines (MTU, Rolls-Royce): Thermal Barrier Coatings (TBC) op basis van yttrium-gestabiliseerd zirkoniumoxide beschermen turbinebladen bij meer dan 1.300 °C
- Directed Energy Weapons: koelsystemen en thermische afscherming voor hoogenergetische lasers vereisen materialen met een extreem lage warmtegeleiding
- Hypersonische technologie: neuskegel- en voorrandmaterialen moeten temperaturen van meer dan 2.000 °C bij gelijktijdige aerodynamische belasting weerstaan
- Energievoorziening van veldkampen: mobiele verbrandingssystemen en restwarmtebenutting met vuurvaste bekleding

Let op: Technologische voorsprong door materiaalonderzoek — Het beheersen van hogetemperatuurprocessen levert een strategische technologische voorsprong op. Landen die zelf ultrahogetemperatuurbestendige keramiek (UHTC) zoals hafniumcarbide en zirkoniumdiboride kunnen produceren, hebben een doorslaggevend voordeel bij de ontwikkeling van hypersonische wapens en terugkeervoertuigen.

Beproeving en kwaliteitsborging

Vuurvaste materialen in de defensiecontext zijn onderworpen aan strengere beproevings- en documentatie-eisen dan in de civiele industrie. De kwaliteitsborging omvat niet alleen de materiaaltechnische beproeving (drukvastheid, porositeit, warmtegeleiding), maar ook de sluitende traceerbaarheid van de grondstoffen, de chargevrijgave door de opdrachtgever en de naleving van militaire specificaties.

- First Article Inspection (FAI): eerstemonsterkeuring volgens AS9102 voor elk nieuw vuurvast product in de defensiecontext
- Chargetracing: sluitende documentatie van grondstof tot ingebouwd vuurvast materiaal — conform AQAP 2110
- Niet-destructief onderzoek (NDO): ultrageluid, röntgen en thermografie voor de beoordeling van de bekledingsintegriteit in ingebouwde toestand
- Milieusimulatie: thermische wisselbelasting, trillingsbeproeving en corrosiebestendigheid onder gesimuleerde

inzetomstandigheden

Let op: AQAP-eisen aan toeleveranciers — De NATO Allied Quality Assurance Publications (AQAP) definiëren de kwaliteitseisen aan toeleveranciers van de defensie-industrie. AQAP 2110 (gebaseerd op ISO 9001) is de minimumeis. Voor toeleveranciers die zelf beproevingen uitvoeren, geldt aanvullend AQAP 2120. De naleving wordt bewaakt door de Bundeswehr-Güteprüfstellen (GüPrSt, kwaliteitskeuringsinstanties van de Bundeswehr).

Toekomsttechnologieën en trends

De defensie-industrie investeert massaal in toekomsttechnologieën die stuk voor stuk hogetemperatuurprocessen vereisen. Van het Future Combat Air System (FCAS) via hypersonische raketten tot nieuwe pantseringsconcepten — de eisen aan vuurvaste techniek en thermisch management zullen verder toenemen. Voor gespecialiseerde toeleveranciers ontstaan daardoor langdurige zakelijke kansen.

- FCAS/NGWS: volgende generatie motormaterialen voor stealth-eisen en hogere bedrijfstemperaturen
- Additive manufacturing: 3D-printen van vuurvaste componenten voor prototypes en kleine series — verkort ontwikkelcyclus van jaren tot maanden
- Keramische matrixcomposieten (CMC): lichter dan metaal, hittebestendiger — een paradigmawisseling in de motortechniek
- Recycling van zeldzame aardmetalen: hogetemperatuurprocessen voor de terugwinning van strategische grondstoffen uit afgedankte wapensystemen

Veelgestelde vragen

Welke vuurvaste materialen worden in de defensie-industrie het vaakst ingezet?

De meest gebruikte vuurvaste materialen zijn hoogaluminiumhoudende stenen en massa's ($\text{Al}_2\text{O}_3 > 70\%$) voor smeltovens, magnesiumoxidegebaseerde producten voor basische ovenbekledingen, siliciumcarbide voor slijtagebescherming en zirkoniumoxidegebaseerde materialen voor Thermal Barrier Coatings. Voor extreme toepassingen worden ook grafiet, wolfram en ultrahogetemperatuurkeramiek (UHTC) ingezet.

Welke certificeringen heeft een vuurvast-toeleverancier nodig voor de defensie-industrie?

De minimumeis is ISO 9001 als basis-KMS. Voor rechtstreekse levering aan defensieconcerns of de Bundeswehr wordt aanvullend AQAP 2110 (NATO-kwaliteitsstandaard) geëist. Afhankelijk van de toegang tot informatie kan een veiligheidsmachtigingsprocedure (Ü1 of Ü2) nodig zijn. Voor export is kennis van de dual-useverordening en het KrWaffKontrG (Duitse wet op de controle van oorlogswapens) noodzakelijk.

Verschillen de eisen aan vuurvaste materialen in de defensie van die in de civiele industrie?

Ja, aanzienlijk. In de defensie gelden nauwere toleranties, sluitende traceerbaarheid, chargevrijgave door de opdrachtgever en documentatie volgens AQAP-standaarden. De materialen zelf zijn vaak identiek, maar de kwaliteitsborging, beproevingsdiepte en bewijsplichten zijn duidelijk omvangrijker.

Laten we het over uw project hebben

Antwoord binnen 24 uur op werkdagen.

info@sbs-rs.de

+49 89 541 960 209

Online lezen: www.sbs-rs.de/defense-industrie/ratgeber/hochtemperaturprozesse-ruestungsindustrie