

THERDAM

NOVODOBÁ OCHRANA PRED
TERMOVÍZNYMI KAMERAMI

 **texit**


GHOST

TOPPER TRADE

OPIS AKTUÁLNEHO STAVU

Náš tím technológov a vývojárov úspešne integroval inovatívne materiály a vytvoril unikátnu štruktúru povrchu, ktorá poskytuje efektívnu ochranu proti termovíznym kamerám.

Pri vývoji sme sa zamerali na štyri kľúčové kritériá:

- Nízka hmotnosť materiálu,
- Efektívne maskovanie v pásmach NWIR, SWIR, MWIR, LWIR a VIS,
- Priedušnosť materiálu,
- Jednoduchosť implementácie do zaužívaných kompozícií/riešení.

Súčasná bojiská, charakterizovaná **výrazným rozvojom technológií**, ako sú termovízne kamery a kompaktné drony, spolu s evolúciou bojovej taktiky, nás motivovali k hľadaniu riešení, ktoré by zvýšili ochranu ľudského života a minimalizovali riziko eliminácie vojenského materiálu, zbraňových systémov a logistických zásob.

Materiál **Therdam**, vyznačujúci sa antitermovíznym efektom, je ideálny na maskovanie osôb (integrácia do odevov), rôznych pevných a prírodných štruktúr rôznych veľkostí a tvarov, vrátane:

- skladov,
- protivzdušných obranných systémov,
- veliteľských a bojových vozidiel,
- delostreleckých pozícií, vrátane radarov a iných kľúčových komponentov,
- maskovanie zákopov, hangárov a stanov,
- ochrany vozidiel a tankov,
- baldachýnov nad zákopmi,
- integrácie do pokrývok neštandardných veľkostí

Kombinované použitie materiálu Therdam a tradičných maskovacích sietí **vytvára ideálnu kombináciu efektívneho maskovania** pred detekovaním ľudským okom, nočným videním, termokamerou, s kontrolovaným uvoľňovaním tepla. Materiál Therdam je možné pomocou spojového systému potiahnuť IR tkaninou, a pritom vytvoriť 3D štruktúry pravidelných alebo nepravidelných tvarov, čím sa dosahuje najkomplexnejší maskovací efekt.

Jednou z ďalších predností materiálu Therdam je jeho **schopnosť odolať** priamemu pôsobeniu ohňa, čím značne rozširuje jeho aplikácie a poskytuje nenahraditeľnú ochranu pre osoby, materiál a vojenské objekty. Materiál je dostupný v roľkách šírky 1 meter a dĺžky prispôbiteľnej potrebám zákazníka, pričom použitie techniky spájania materiálu navrhutej výrobcom garantuje jeho nezmenenú funkcionálnosť.

Budúcnosť pokročilých materiálov, ako je Therdam, smeruje k integrácii do karbónovo-aramidových kompozitov, ktoré by mali slúžiť ako nosné štruktúry (napríklad strelné veže a iné štruktúrne časti vozidiel) s kombinovanou balistickou a termovíznou ochranou.

POPIS PROBLEMATIKY

Úvod

Neustály technologický pokrok v modernom boji prinášajúci nové technológie a detekčné zariadenia pracujúce v pásmach NIR, SWIR (nočné videnie), MWIR, LWIR (termovízne zariadenia) a radarová detekcia vyvoláva potrebu maskovania osôb, objektov, techniky a iných dôležitých bodov záujmu.

Neexistuje však ideálne a univerzálne riešenie, ktoré by zamedzilo detekciu maskovaného objektu všetkými dostupnými technológiami v pásmach NWIR, SWIR, MWIR, LWIR a VIS (viditeľné pásmo). Napríklad riešenia optimalizované pre maskovanie pred termovíznymi detektormi môžu paradoxne uľahčiť detekciu prostredníctvom nočného videnia alebo voľným okom.

Aby sme dosiahli požadovanú úroveň maskovania pred rôznymi typmi detektorov, musíme prijať kompromisy a siahnuť po neštandardných, často nelogických kombináciách materiálov a ich štruktúr. Takáto kompozícia nám napokon umožní dosiahnuť komplexnú ochranu pred detekciou spomenutými typmi zariadení.

Maskovanie pred nočným videním

Maskovanie pred nočným videním (NWIR, SWIR) je efektívne dosiahnuté použitím tkaniny, ktorá je jednostranne impregnovaná pigmentmi s vhodnou reflektivitou v danom pásme. Väčšinou ide o oxidy kovov, ktoré umožňujú vytvorenie farebnej štruktúry, čiže maskovacieho vzoru. Tento prístup zároveň zabezpečuje maskovanie aj vo viditeľnom pásme (VIS). Avšak v oblasti ochrany pred radarovou a termovíznou detekciou táto technológia neposkytuje dostatočnú efektívnosť.

Maskovanie pred termokamerou

Maskovanie pred termovíznymi detektormi do určitej miery súvisí aj s maskovaním pred radarovými detektormi. Každé teleso s teplotou vyššou ako 0 K emituje žiarenie, ktoré termovíznym detektor zachytí a prevedie na informáciu o povrchovej teplote objektu. Žiarenie emitované maskovaným objektom však nie je to jediné, ktoré termokamera deteguje; zahrňuje tiež žiarenie odrazené od maskovaného objektu smerom ku kamere. Presnosť merania termovíznej kamery je ovplyvnená viacerými faktormi, ako napríklad vlhkosťou vzduchu, teplotou jadra kamery a teplotou okolia. V kontexte detekcie termovíznou kamerou je pre nás kľúčový rozdiel teploty maskovaného objektu voči okoliu a identifikácia teplotnej anomálie podľa siluety. Následne vyhodnocujeme teplotné zóny a ich intenzitu. Každé teleso, ktoré ma teplotu vyššiu ako **0 K** vyžaruje do svojho okolia žiarenie. **Každý materiál ma špecifickú úroveň emisivity a reflektivity.**

Vo všeobecnosti majú kovové materiály s vysokým leskom veľmi nízku emisivitu, ktorá sa zvyšuje s rastúcou teplotou, pričom tento jav je pre každý kov individuálny. V praxi to znamená, že pri bežných teplotách vyžarujú iba malé percento žiarenia.

Emisivita absolútne čierneho telesa = 1,

Emisivita ideálneho zrkadla = 0.

Tu sa ponúka jednoduché riešenie: maskovať objekt pomocou lesklého kovového materiálu, napríklad fólie. Tento lesklý kovový materiál prijme teplotu zdroja žiarenia, ale vzhľadom na svoju veľmi nízku emisivitu nedokáže vyžarovať dostatočné množstvo energie pre úspešnú detekciu termokamerou. Je dôležité použiť čistý kov, pretože pri použití oxidov kovov by emisivita materiálu násobne vzrástla.

Tato vlastnosť kovového materiálu je výhodná, avšak musí byť použitá iným spôsobom, aby sa eliminovali nevýhody, ako sú:

- fatálny demaskovací účinok v pasme VIS (viditeľnom pasme žiarenia),
- fatálny demaskovací účinok v pasme NWIR, SWIR, (nočne videnie)
- rapídny nárast emisivity vplyvom znečistenia alebo zoxidovania kovu.

Ak sa k takto maskovanému objektu priblíži cudzí zdroj žiarenia, alebo je vystavený slnečnému alebo mesačnému svitu, dochádza k odrazu tohto žiarenia do okolia, tým pádom aj smerom k termokamere, čo vedie k úspešnej detekcii objektu. Ďalšou nevýhodou takýchto fólií je nedostatočná ohybnosť a predovšetkým nedostatočná priedušnosť.

Tu sa naskytuje riešenie: prekryť kovovú fóliu tkaninou, ktorá je jednostranne impregnovaná IR pigmentami s vhodnou emisivitou a reflektivitou. V takomto usporiadaní bude maskovanie v pásmach MWIR a LWIR fungovať na nedostatočnej úrovni a len v obmedzenom časovom úseku.

Dôvodom je, že teplo z lesklého kovu, ktorý má nízku schopnosť vyžarovania energie, sa kondukciou (priamym kontaktom materiálov) prenáša na vonkajší materiál. Tento vonkajší materiál však má výrazne vyššiu emisivitu, z dôvodu účinného maskovania v pasmách VIS, NIR a SWIR, a začne vyžarovať energiu. Toto sa deje aj napriek tomu, že teplota vonkajšej vrstvy je nižšia o straty prenosom tepla (kondukciou). Vyžiarená energia bude nižšia o straty spôsobené prenosom energie zo zdroja žiarenia na povrch maskovaného objektu a tento proces má určité časové oneskorenie.

Straty spôsobené prenosom energie a ich minimalizácia sú kľúčovým faktorom pre úspešné maskovanie pred termokamerami. Pre efektívne fungovanie komplexnej maskovacej technológie je nevyhnutné minimalizovať prenos tepla zo zdroja na vonkajšiu vrstvu. Týmto spôsobom sa znižuje množstvo energie, ktorá môže byť detegovaná termokamerou, čím sa zvyšuje efektívnosť maskovania.

Reflektivita, emisivita, merná tepelná kapacita a hrúbka vrstvy pigmentov musia byť zvolené tak, aby pri zachovaní maskovacieho účinku v pásmach VIS, NIR a SWIR boli schopné čo najlepšie prijímať a odovzdávať teplo do okolitého prostredia a kopírovať teplotu okolia.

Pod vonkajšou, chladnou vrstvou (D) sa nachádza materiál (C), ktorého úlohou je zamedziť priamemu dotyku tejto chladnej vrstvy s materiálom Therdam (A+B). Týmto spôsobom sa v maximálnej možnej miere obmedzuje prenos tepla kondukciou smerom k vonkajšej chladnej vrstve (D).

Nasledujúcu vrstvu tvorí materiál Therdam. Hlavnou úlohou tejto vrstvy je obmedziť množstvo energie prenesenej od zdroja tepla smerom k materiálu (C), pričom zároveň zabezpečuje priedušnosť kompozície.

Vo vedeckých kruhoch sa často objavuje názor, že sklo je ideálne na "tínenie" tepelnej stopy, ale to nie je úplne pravdivé. Tento mýtus pravdepodobne vznikol na základe pozorovania budov pomocou termokamery, kde sa tabuľové sklo na snímkach javí ako chladné. Tento jav je spojený s jeho tepelnou vodivosťou, reflektivitou a umiestnením. Sklo však má emisivitu až 0,92, čo z neho robí veľmi efektívny žiarič. Jeho lesklý povrch odráža dopadajúcu energiu. Reflektivitu skla možno dokázať tak, že sa postavíte pred sklo s termokamerou, a uvidíte svoj termálny odraz. Emisivitu skla môžete overiť tak, že na jeho povrch priložíte ruku na 30 sekúnd, odobrate ruku a sledujte tepelnú stopu pomocou termokamery. Aj keď je tabuľové sklo nevhodné pre tento účel, v iných štruktúrach môže byť vhodné.

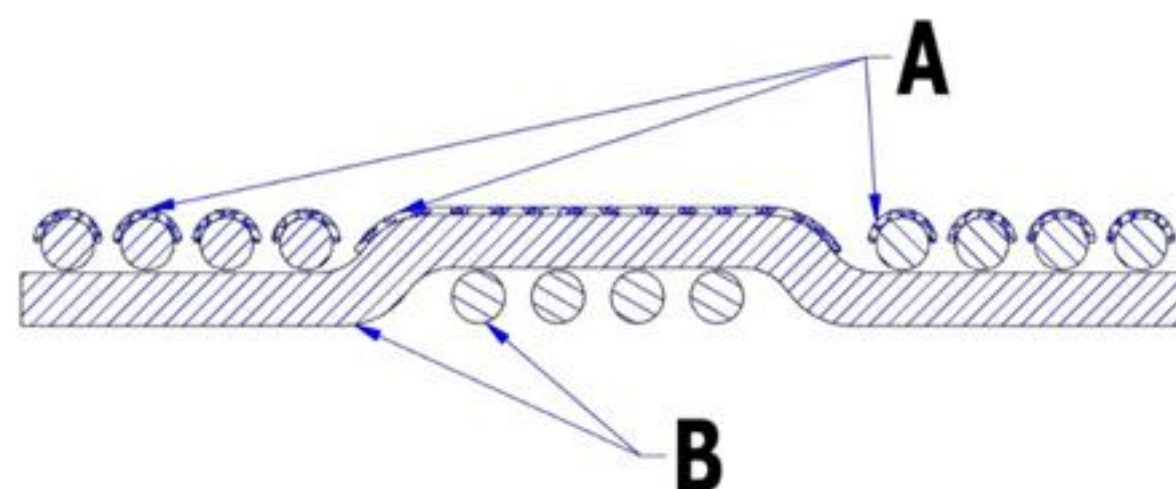
Materiál Therdam sa skladá z tkaniny utkanej zo sklenených vlákien (B), pričom odvrátená strana od zdroja tepla je pokovovaná kovom (A) s emisivitou 0,07 alebo menej. Mechanizmus prenosu tepla cez tento materiál je diametrálne odlišný od tabuľového skla. Tkanina je tkaná z filamentov, ktoré sú zložené z 204 elementárnych sklenených vlákien typu E. Teplo prenášané od zdroja žiarenia prechádza jednotlivými vláknami, pričom prenos prebieha prevažne kolmo na ich pozdĺžnu os. Keďže vlákna majú kruhový prierez a teda kontaktná plocha medzi nimi je minimalizovaná, prenos tepla kondukciou z vlákna na vlákno je výrazne obmedzený. Časť tepla sa materiálom prenáša aj žiarením. Napriek tomu, že sklo je efektívny žiarič, jeho vysoká reflektivita odrazí nezanedbateľnú časť žiarenia späť.

Energia prechádzajúca cez materiál Therdam musí absolvovať prechod medzi rozhraniami viac ako 100-krát. Každý prechod z jedného rozhrania do druhého je sprevádzaný teplotnou stratou. Na konci tejto bariéry sa nachádza spomínaná kovová vrstva. Táto kovová vrstva (A) je priamo nanosená na sklenené vlákna (B), a preto dochádza k prenosu tepla na kovovú vrstvu kondukciou. Vďaka nízkej emisivite kovovej vrstvy je množstvo vyžiarenej energie smerom k materiálu 2 minimalizované. Prestup tepla kondukciou z kovovej vrstvy na materiál 2 je tiež minimalizovaný vďaka členitej štruktúre. Ak by sme namiesto tenkej pokovanej vrstvy použili kovovú fóliu alebo pokovanú polymérovú fóliu, prestup tepla kondukciou by sa zvýšil.

Unikátna vlastnosť pokovaných vlákien spočíva v tom, že spája dve zdánlivo protichodné požiadavky na materiál:

- Povrch musí mať nízku emisivitu, čo v praxi znamená hladký a vyleštený povrch
- Povrch musí mať nízku reflektivitu, čo v praxi znamená oxidovaný alebo opieskovaný, zdrsnený povrch
- Povrch musí byť členitý aby bola minimalizovaná veľkosť kontaktnej plochy so susediacim materiálom
- Členitosť povrchu musí byť tvorená so zreteľom, že kovy **nie sú izotopické žiariče**.

Predstavme si detail materiálu Therdam ako systém kruhových telies, na ktorých je z jednej strany nanosená kovová vrstva. Tvar tejto kovovej vrstvy tvorí sústava polkruhových, ktoré sú cyklicky prekrývané inými polkruhmi kovovej vrstvy pod uhlom 90° (obr. 1.). Toto usporiadanie umožňuje dosiahnutie členitého povrchu s nízkou emisivitou, nízkou reflektivitou a vysokou efektívnou plochou. Poslednú vrstvu kompozície tvorí tkanina, ktorá zabezpečuje uzavretie kompozície a v prípade maskovania osoby poskytuje aj komfort.



Priedušnosť je kľúčovým faktorom pre úspešné komplexné maskovanie. Kompozícia materiálu musí mať určitú priedušnosť, aby teplo nahromadené v termobariére Therdam mohlo riadne a postupne prechádzať do okolia. Ak by sme teplo v maximálnej miere zadržovali pod maskovacím materiálom, došlo by k zvýšeniu teploty, prehriatiu objektu a tým aj k prehriatiu vonkajšej chladnej vrstvy, čo by malo za následok demaskovací účinok. Materiál Therdam vďaka svojej vláknitej a ohybnej konštrukcii umožňuje pohyb vlákien medzi sebou, čo významne uľahčuje uvoľňovanie nahromadeného tepla. Hodnota priedušnosti závisí od konkrétneho použitia a volí sa individuálne. Odporúčaný rozsah priedušnosti je od 0,2 až do 3 m³/min.

Faktory ovplyvňujúce detekciu termokamerou:

- Teplota okolia
- Relatívna vlhkosť
- Alkohol v krvi - nárast teploty osoby
- Lieky, napr. Paracetamol - nárast teploty osoby
- Farba pleti - emisivita 0.97 - 0.99 - minimálny vplyv
- Atmosféra - skladá sa z niekoľkých plynov, ako dusík, kyslík, argón, hélium alebo oxid uhličitý. Taktiež sa v nej nachádza premenlivé množstvo vodnej pary. Dvojatómové plyny pozostávajúce z rovnakého prvku nemôžu absorbovať IR radiáciu. Plyny pozostávajúce z viacerých atómov rozdielneho druhu IR radiáciu naopak absorbujú. Plyny schopne absorbovať IR žiarenie sú napr. **vodná para, oxid uhličitý, metán**. Útlm atmosféry prevažne závisí od koncentrácie plynov.

Popis jednotlivých vrstiev kompozície a ich usporiadanie

- 1. Vonkajšiu vrstvu** výslednej kompozície (najvzdialenejšia z pohľadu zdroja tepla) tvorí materiál **(D)** a je to tkanina s maskovacím vzorom s IR pigmentami na zabezpečenie maskovacieho účinku v oblasti VIS, NWIR, SWIR. Prenos tepla preneseného na vonkajšiu vrstvu zo zdroja tepla musí byť minimalizovaný, avšak nie úplne zastavený.
- 2. Druhu vrstvu** výslednej kompozície **(C)** tvorí vláknitý netkaný materiál, 100% polyester, duté vlákna. farba biela. Obchodný názov Vatelín 60g/m², Freudenberg
- 3. Tretiu vrstvu** výslednej kompozície **(A+B)** tvorí materiál Therdam, pokovaná strana smeruje k vonkajšej chladnej vrstve t.j. odvrátená od zdroja tepla.
- 4. Štvrtá vrstva** výslednej kompozície **(C)** je totožná s druhou vrstvou. Tato vrstva môže byť z kompozície vynechaná, čo má za následok zníženie hmotnosti na m² ale zároveň sa zníži aj efektívnosť maskovania pred termokamerou.
- 5. Piatu vrstvu** výslednej kompozície **(E)** tvorí tkanina z drevnej buničiny (100% viskóza), gramáž 90-130g/m², farba čierna.

Spájanie jednotlivých vrstiev do výslednej kompozície

Pri spájaní jednotlivých vrstiev výslednej kompozície je nežiaduce použiť lepenie, keďže by to výrazne ovplyvnilo priedušnosť, zvýšilo hmotnosť a predovšetkým by to podporilo prechod tepla smerom k chladnej-vonkajšej vrstve.

Preto spájanie realizujeme zošíváním, použitím štandardného stehu, napríklad Lockstitch 301. Jednotlivé stehy sú od seba vzdialené od 5 do 150 mm, čím vytvárame raster. Odporúčame sa vyhnúť pravidelným tvarom, ako je mriežka, a stehy viesť po krivkách, chaoticky sa križujúcich, ktoré vytvoria rôzne útvary. Týmto spôsobom zošíváním vytvárame 3D štruktúru, ktorá zvyšuje maskovací účinok vo všetkých vyššie spomínaných spektrálnych pásmach. Pri výbere hustoty zošívania je potrebné zvážiť fakt, že v okolí stehov dochádza k zvýšenému prechodu tepla, čo môže znižovať schopnosť maskovania. Minimálna odporúčaná plocha útvaru je 20 cm² a maximálna odporúčaná plocha útvaru je 80 cm².

Detailný popis materiálu Therdam, fyzikálne a technologické požiadavky

Hmotnosť	290 g/m ² , tolerancia ± 5%
Typ tkania	2x2 Twill , iso 2113
Štandardná šírka	1000 mm, ± 2,5%
Hrúbka tkaniny	0,29, ± 5%
Typ vlákna osnova, E glass EC 9	3x68 tex
Typ vlákna utek, E glass EC 11	204 tex
Počet filamentov na cm	7
Pevnosť vlákna v ťahu	3300 MPa
Chemické zloženie vlákna	SiO ₂ 52-56%, Al ₂ O ₃ 12-16%, B ₂ O ₃ 5-10%, CaO 16-25%, MgO 1-5%
Stopové množstva	Na ₂ O+K ₂ O, TiO ₂ , Fe ₂ O ₃ , F ₂
Typ nanášaného kovu	hliník (AL)
Hrúbka nanesej vrstvy	10µm, ± 8%
Spôsob nanášania	vákuové naparovanie kovu



fabian@textit.sk



paso.uher@gmail.com

Poznámky:

Reflektivita – schopnosť povrchu telesa odrážať elektromagnetické žiarenie

Emisivita – schopnosť povrchu telesa vyžarovať elektromagnetické žiarenie.

Kondukcia – prenos tepelnej energie z miest s vyššej teploty do miest nižšej teploty prostredníctvom priameho kontaktu molekúl

IR Infra Red – žiarenie pohybujúce sa v infračervenej oblasti

LWIR Long Wave infra red – dlho vlnné infračervené žiarenie

NWIR Near Wave infra red – blízke infračervené žiarenie

MWIR Medium Wave infra red – stredné vlnové infračervené žiarenie

SWIR Short wave infra red – krátko vlnné infračervené žiarenie

VIS Visible – viditeľné