

**ՇԻՆԱՐԱՐԱԿԱՆ ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՑԻԱՆԵՐ, ՇԵՆՔԵՐ,
ԿԱՌՈՒՅՑՆԵՐ ԵՎ ՇԻՆԱՐԱՐԱԿԱՆ ՆՅՈՒԹԵՐ**

ՀՏԴ 531

Ա.Գ. ԽԱՌԱՏՅԱՆ, Ո.Պ. ԲԱՐՍԱՄՅԱՆ

**ԶՐԱՀԱԲԱՃԿՈՆԻ ՃԿՈՒՆ ՏԱԿԴԻՐԻ ԿԱՌՈՒՑԱԶԵՎԻ ԵՎ
ՖԻԶԻԿԱՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ
ԿԵՐԱՄԻԿԱԿԱՆ ՍԱԼԵՐԻ ԶԳԱԲԱՆԱԿԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ
(Վանաձոր)**

Դիտարկվել է բարձր կարծրությամբ և արագությամբ հրազենային գնդակի միջուկի ներթափանցման գործընթացը երկշերտ զրահաբաճկոնի մեջ: Ցույց է տրվել, որ կերամիկական սալի և բազալտե հարվածադիմացկուն թելերով ամրանավորված կոմպոզիտային տակդիրի համատեղումը հնարավորություն է տալիս՝ ստեղծելու բարձր ձգաբանական (բալիստիկական) հատկություններով թեթև զրահապաշտպանական համակարգ: Նկարագրվել է առանձին շերտերի ֆիզիկամեխանիկական, կառուցվածքային և ձգաբանական հատկությունների ազդեցությունը զրահաբաճկոնի արդյունավետ զրահապաշտպանական ցուցանիշների վրա: Ցույց է տրվել ճկուն կոմպոզիտային տակդիրի մեխանիկական և կառուցվածքային հատկությունների ազդեցությունը կերամիկական շերտի քայքայման գործընթացի վրա: Դիտարկվել է բազալտե գործվածքի շերտով զրահաբաճկոնի վերադիր շերտ ստեղծելու արդյունավետությունը:

Առանցքային բառեր. կերամիկական նյութեր, ձգող և սեղմող ալիքներ, ձգաբանական հատկություն, ամրություն, կարծրություն, մաժուցիկ քայքայում, կոմպոզիտային նյութեր, առաձգապլաստիկ դեֆորմացիաներ:

Ներածություն: Կերամիկական նյութերն իրենց առանձնահատուկ ֆիզիկամեխանիկական հատկություններով լայն կիրառություն են գտել զինուժի և հատուկ տեխնիկական միջոցների զրահապաշտպանական համակարգերում: Կերամիկական նյութերն ունեն բարձր ամրություն, կարծրություն և կոշտություն: Հիմնական խնդիրը, որը սահմանափակում է նրանց կիրառությունը, այդ նյութերի բավական բարձր փխրուն քայքայման աստիճանն է հարվածային և դինամիկ բեռներից: Այդ խնդրի լուծման հիմնական ուղղություններից մեկը կերամամատրիցային կոմպոզիտային նյութերի ստեղծումն է՝ ամրանավորելով կերամիկական նյութերը բարձրամուր, հակաձգաբանական թելերով: Ի տարբերություն ոչ ամրանավորված կերամիկական նյութերի՝ նշված կոմպոզիտային նյութերում դեֆորմացիաները ոչ զծային են, և գնդակի միջուկի էներգիայի մի զգալի մասը կլանվում է զրահասալում պլաստիկ դեֆորմացիաների առաջացման հետևանքով: Չնայած կերամամատրիցային կոմպոզիտային նյութերի մեխանիկական բնութագրերի

բարելավման նշանակալից առաջընթացին՝ դեռևս բավարար չէ բարձր ամրության պահպանման դեպքում փխրուն քայքայման աստիճանի թուլացումը: Խնդիրը ամրանավորող թելերի հավասարաչափ բաշխվածության և ուղղվածության, կոմպոզիտային նյութերի բարձր խտության ապահովման, անիզոտրոպիայի կարգավորման, ինչպես նաև բաղադրիչ նյութերի ջերմային ընդարձակման ու կծկման տարբերությունների մեջ է:

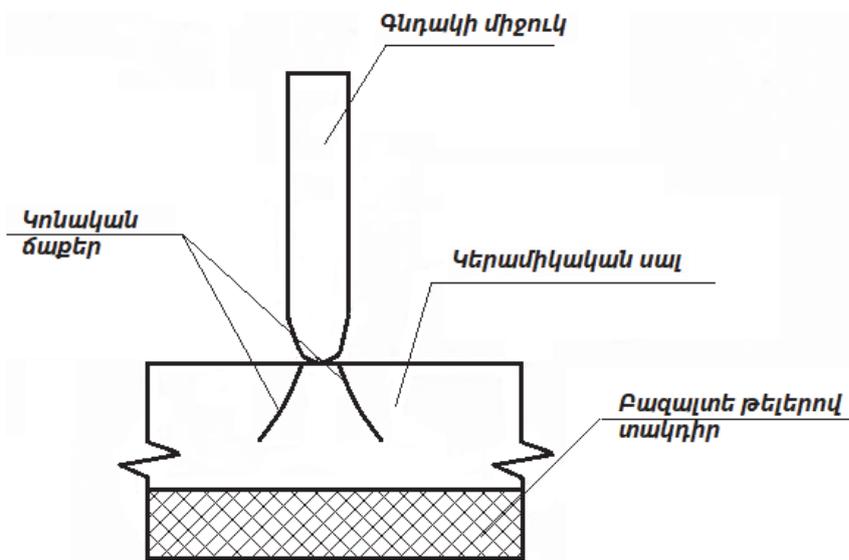
Այս խնդրի լուծման կառուցվածքային այլընտրանք է երկշերտ զրահասալի մոդելը: Կերամիկական շերտի համատեղումը թեթև ձգաբանական զրահանյութերից պատրաստված տակդիրի հետ բարձրացնում է զրահաբաճկոնի պաշտպանական արդյունավետությունը: Թեթև զրահանյութերը լավ մշակվում են և ձևավորվում, փխրուն չեն, ունեն ըստ ձգման մեծ ամրություն և ոչ մեծ ամրություն՝ ըստ սեղմման:

Երկու շերտերի համատեղումը թույլ է տալիս օգտագործել բաղադրիչ շերտերի լավագույն հատկությունները հրազենային գնդակի միջուկից զրահապաշտպանության համար՝ պահպանելով համակարգի օպտիմալ քաշը: Զրահաբաճկոնի ձգաբանական հատկությունների, զրահապաշտպանական ցուցանիշների և, մյուս կողմից, երկշերտ զրահասալի բաղադրիչ շերտերի կառուցաձևի ու ֆիզիկամեխանիկական բնութագրերի միջև կախվածության տեսական մոդելավորումը թույլ է տալիս գտնել օպտիմալ տարբերակներ, ինչպես նաև կրճատել նախագծման ժամանակը և ծախսերը:

Նյութեր և մեթոդներ: Դիտարկվում է կերամիկական շերտի և բազալտե բարձրամուր թելերով ամրանավորված տակդիրի մեջ բարձրամուր, կարծր ու մեծ արագությամբ (>800 մ/վ) հրազենային գնդակի միջուկի ներթափանցման գործընթացը: Գնդակի միջուկի հարվածից կերամիկայի մեջ առաջանում է հարվածային սեղմող ալիք: Հարվածային ալիքի տարածման արագությունը, ինչպես նաև նրա հավասարաչափ կլանումը մեծանում են կերամիկայի առաձգականության մոդուլի և խտության հարաբերությանը (E/ρ) զուգընթաց, որը կերամիկայում մոտավորապես երեք անգամ գերազանցում է գնդակի միջուկի ներթափանցման համեմատ: Սեղմող հարվածային ալիքը, շերտերի բաժանարար մակերևույթից անդրադառնալով, թափանցում է գնդակի միջուկի մեջ՝ փորձելով քայքայել այն: Կերամիկական տակդիր բաժանարար մակերևույթի մոտ տակդիրը ճկվում է, և կերամիկական շերտի հետնամասում ձգող լարումներից առաջանում են ճաքեր, որը հանգեցնում է կերամիկական նյութի հետագա քայքայմանը:

Աշխատանքում հարվածային երևույթի մոդելավորումը և խնդրի լուծման գործընթացը կատարվում են երկու հաջորդական մոտեցումներով: Սկզբում խնդիրը դիտարկվում է պարզ տարբերակով, որը թույլ է տալիս սկզբունքորեն հստակեցնել հարվածային երևույթի գործընթացը (նրա ալիքային բնույթը), այնուհետև կատարել իրական հարաբերակցությունների վերլուծությունը:

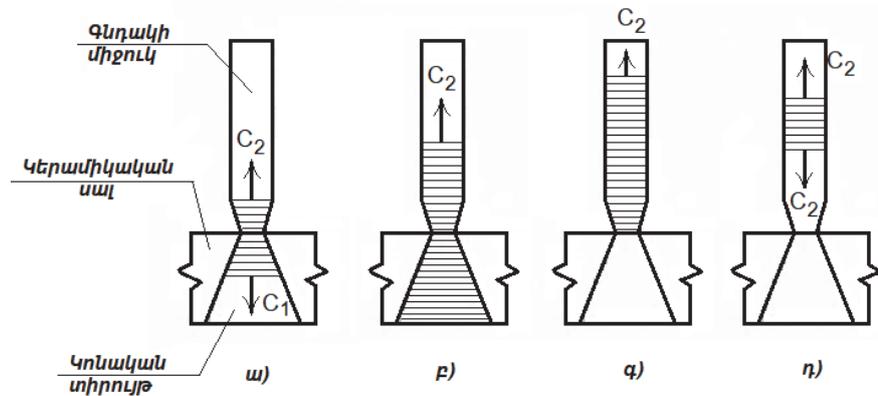
Բարձր արագությամբ հրազենային գնդակից պաշտպանությունը ներառում է գնդակի միջուկի գազաթային մասի բթացումն ու կերամիկական սալի մանրացումը (բեկորատումը) միջուկ-կերամիկա համան տեղում: Հայտնի է, որ կերամիկական նյութերը կարճատև ստատիկական բեռներից ձգման, ծոման և միառանցք սեղմման դեպքերում, որպես կանոն, քայքայվում են առանց նախնական պլաստիկ դեֆորմացիաների առաջացման: Հարվածի սկզբնական պահին միջուկի գազաթի մոտակայքում կերամիկայում գոյանում են կոնական ճաքեր, որոնք աճում են դեպի խորքը (նկ.1):



Նկ. 1. Միջուկի գազաթի մոտակայքում կերամիկայում գոյացած կոնական ճաքերը

Միաժամանակ սկսում է քայքայվել գնդակի միջուկի գազաթային մասը՝ առաձգապլաստիկ դեֆորմացիաների հետևանքով: Կերամիկայի մեջ առաջացած հարվածային սեղմող ալիքը հիմնականում սահմանափակվում է կոնական ճաքերով եզրագծված կերամիկական նյութի ծավալով:

Հարվածային երևույթի ալիքային բնույթը պարզելու համար դիտարկենք ալիքների առաջացման և տարածման պարզեցված մոդելը: Հաշվի չառնելով տեղական պլաստիկ դեֆորմացիաները, գնդակի միջուկի գազաթային մասի քայքայումը, մածուցիկ հոսքերը՝ միջուկ-կերամիկա փոխազդեցությունը դիտարկենք որպես երկու առաձգական, ոչ միատեսակ ձողերի հարված: Դրանցից առաջինը՝ գնդակի միջուկը, շարժվում է V արագությամբ, իսկ երկրորդը՝ կոնական ճաքերով եզրագծված կերամիկան, անշարժ է: Հարվածից երկու ձողերում առաջանում են հակառակ ուղղություններով տարածվող սեղմող ալիքներ (նկ.2ա):



Նկ. 2. Ձողերում առաջացած փարածվող սեղմող ալիքները

Քանի որ ճաքերով եզրագծված կոնի բարձրությունը գնդակի միջուկի երկարության համեմատ փոքր է, իսկ կերամիկական նյութում ալիքի տարածման արագությունը միջուկի նյութի համեմատ մեծ է, ապա սեղմող ալիքը ավելի շուտ կհասնի կոնի թիկունքային մաս (նկ.2բ): Կերամիկական նյութերն ունեն պլաստիկ քայքայման շատ ցածր աստիճան, և դեֆորմացիաները հիմնականում առաձգական են: Կոնական ճաքերով սահմանափակված տիրույթում ալիքի տարածման արագությունը կորոշվի հետևյալ բանաձևով [1].

$$c = \sqrt{E/\rho} , \tag{1}$$

որտեղ E-ն կերամիկական նյութի առաձգականության մոդուլն է, ρ -ն խտությունը:

Սեղմող լարումը կորոշվի հետևյալ բանաձևով [1].

$$\sigma = V \cdot \sqrt{\rho E} , \tag{2}$$

որտեղ V-ն գնդակի միջուկի արագությունն է:

Կոնական ծավալով ալիքի տարածման տևողությունը կորոշվի հետևյալ բանաձևով [1].

$$\tau = \frac{2h}{c} = 2h \cdot \sqrt{\rho/E} , \tag{3}$$

որտեղ h-ը կոնական մասի բարձրությունն է (կերամիկական սալի հաստությունը):

Կոնի թիկունքային մասում սեղմող ալիքը ձևափոխվում է ձգող ալիքի և անդրադառնում: Հասնելով կերամիկա-միջուկ հպման տեղին՝ կոնական ծավալը ամբողջությամբ բեռնաթափվում է (նկ.2գ): Կոնական մասից ձգող ալիքը ներթափանցում է գնդակի միջուկ, իսկ միջուկում տարածվող սեղմող ալիքը, հասնելով նրա ազատ ծայրին, ձևափոխվում է ձգող ալիքի և անդրադառնում: Երկու

ձգող ալիքների ճակատները հանդիպելով շարունակում են տարածվել միջուկի մեջ (նկ.2դ): Երբ ձգող ալիքը հասնում է կերամիկա-միջուկ համան մակերեսին, ճնշումը այս մասում հավասարվում է գրոյի: Ձգող-սեղմող ալիքները պահպանվում են գնդակի միջուկի մեջ մինչև վերջնական մածուցիկ ցրումը:

Ալիքային գործընթացներին զուգահեռ անհրաժեշտ է հաշվի առնել նաև գնդակի միջուկի առաձգապլաստիկ դեֆորմացիաները: Հարվածային ուժի ինտենսիվության աճի հետ մեծանում է շեղումը առաձգական հատկություններից: Անհրաժեշտություն է առաջանում հարվածի երևույթը վերլուծել ոչ զծային $\sigma(\square)$ կախվածության հաշվառումով: Սովորաբար $\sigma(\square)$ կախվածությունը շատ զգայուն է դեֆորմացիայի արագության փոփոխության նկատմամբ, և առաձգապլաստիկ հարվածի ցանկացած վերլուծություն, որը հիմնված կլինի $\sigma(\square)$ կախվածության վրա, կունենա որոշակի պայմանական բնույթ: Միջուկի գլխամասի բթացման, հնարավոր բեկորատման, կերամիկայում կոնական ճաքերի առաջացման հետևանքով գնդակի միջուկի էներգիայի, նաև արագության անկումը ավելի դյուրին է գնահատել ձգաբանական փորձարկման հիման վրա: Փորձաքննությամբ որոշված կերամիկայի մեջ գնդակի միջուկի ներթափանցման ժամանակի հապաղման մեծությունը անուղղակի չափանիշ է միջուկի արագության անկման գնահատման համար: Ներթափանցման ժամանակի հապաղումը որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$t = \frac{l_0 - l}{V_0}, \quad (4)$$

որտեղ l_0 –ն գնդակի միջուկի սկզբնական երկարությունն է, l –ը՝ մնացորդային երկարությունը արգելքը խոցելուց հետո, V_0 –ն՝ գնդակի միջուկի սկզբնական արագությունը:

Սեղմման ալիքը, կերամիկական նյութի ճաքերով սահմանափակված, կոնական ծավալով փոխանցվում է բազալտե թելերով ամրանավորված տակդիրին: Տակդիրի վրա կոնով փոխանցվող լարման մեծությունը կարելի է հաշվել (2) բանաձևով՝ փոքրացնելով կոնի հիմքերի մակերեսների հարաբերության գործակցով: Գնդակի միջուկով կերամիկական սալի խոցման հետևանքով ստացվող կոնական անցքի հիմքերի մակերեսների հարաբերությունը կարելի է գնահատել ձգաբանական փորձարկմամբ: Բազալտե հարվածադիմացկուն, անընդմեջ թելերով ամրանավորված թերմոպլաստիկ մատրիցով կոմպոզիտային նյութերը շատ կայուն են ճաքերի առաջացման նկատմամբ: Ճկուն տակդիրը մեղմացնում է հարվածի ուժգնությունը՝ ապահովելով թիկունքային մասի ճկվածքի՝ նորմայով պահանջվող մեծությունը:

Կերամիկական շերտի քայքայման գործընթացի վրա ակտիվ ազդեցություն ունեն տակդիրի մեխանիկական և կառուցվածքային առանձնահատկություն-

ները: Բազալտե բարձր հարվածադիմացկուն, անընդմեջ թելերով ամրանավորված տակդիրի համատեղումը կերամիկական սալիկների շերտի հետ արդյունավետորեն պաշտպանում է հրազենային գնդակից: Բազալտե թելերի լայնակի (0° , 90° և 45° , 135°) տեղակայումը բարձրացնում է կոմպոզիտային նյութի դինամիկ հատկությունը: Լայնակի (трансверсальный) հարվածի դեպքում կոմպոզիտային նյութը ամրանավորող բարձրամուր բազալտե չընդհատվող թելերում առաջանում են դեֆորմացիայի երկայնական ձգող ալիքներ, որոնք թելերի երկայնքով տարածվում են ծայնի արագությամբ: Ուղղահայաց ուղղությամբ տարածվող սեպածն ալիքի արագությունը համեմատաբար փոքր է: Ալիքն առաջացնում է թելերի ձգում, և նյութը շեղվում է դեպի հարվածի կիզակետ: Բազալտի լայնակի թելերի շփման հետևանքով տեղի է ունենում էներգիայի ցրում, որը կարևոր դեր է կատարում գնդակի միջուկի արգելակման և ձևախախտման գործում: Թելերի միջև շփման ուժի մեծացումը հանգեցնում է ձգման ակտիվ գոտու ընդարձակմանը և հետևաբար՝ ցրվող էներգիայի աճին: Եթե շփումը թելերի միջև փոքր է, ապա կոմպոզիտային նյութը պահանջվող դիմադրությունը չի ապահովում, և հնարավոր չէ հասնել արդյունավետ ձգաբանական կայունության, իսկ շփման մեծ արժեքի դեպքում հնարավոր է թելերի խզում: Շփումը կարելի է օպտիմալացնել՝ փոխելով թելերի բաշխվածությունը, խտությունը, թելերի տրամագիծը, ինչպես նաև թելերը ծածկույթով պատելու միջոցով: Կոմպոզիտային զրահապաշտպանական նյութերի դեպքում կարևոր է, որ ամրանավորող թելերի երկարացումը խզման դեպքում մատրիցի համեմատ լինի ավելի փոքր ($\delta_{թ} < \delta_{մ}$) [2]: Բազալտե բարձրամուր թելերի երկարացումը խզման դեպքում ցածր է թերմոպլաստիկ մատրիցի համեմատ:

Անընդմեջ թելերով ամրանավորված կոմպոզիտային նյութերի կարևոր առանձնահատկություններից մեկն այն է, որ թելերի տարածական համապատասխան դասավորությամբ, բաղադրիչ նյութերի հատկությունների նպատակային ընտրությամբ ստացվում են մեխանիկական և հոսաբանական (ռելոզիական) բնութագրերով անիզոտրոպության տարբեր աստիճաններ ունեցող նյութեր: Անիզոտրոպության որոշակի հարաբերակցության ապահովումը բարձրացնում է զրահաբաճկոնի ձգաբանական արդյունավետությունը: Ելնելով կոմպոզիտային տակդիրի կառուցվածքից՝ այն մոդելավորենք որպես լայնակի իզոտրոպ միջավայր: Լայնակի իզոտրոպ միջավայրում $\tau_{S\gamma} = \tau_{S\theta} \neq \tau_{Sx}$, որտեղ $\tau_{S\gamma}$, $\tau_{S\theta}$, τ_{Sx} -ը գլանային կոորդինատական համակարգում համապատասխան ուղղություններով հոսունության սահմաններն են: Կոմպոզիտային տակդիրի դիմային մակերեսը համընկնում է իզոտրոպիայի r , θ հարթության հետ, իսկ X առանցքը՝ գնդակի միջուկի ներթափանցման ուղղության հետ: Միջուկի ներթափանցմանը դիմակա-

յող լարումը (σ) կախված է τ_{Sr}/τ_{Sx} հարաբերությունից [3]: Անիզոտրոպության որոշակի հարաբերակցության դեպքում, մասնավորապես, եթե $\tau_{Sr}=2\tau_{Sx}$, ապա զգալիորեն մեծանում է միջուկի ներթափանցման դիմակայող ուժը: Իզոտրոպ միջավայրում ($\tau_{Sr}/\tau_{Sx} = 1$) կամ երբ այդ հարաբերությունը զգալիորեն մեծ է 2-ից, դիմադրության ուժի մեծացման երևույթ տեղի չի ունենում: Թելերի տրամագծի և խտության համապատասխան ընտրությամբ կարելի է ստեղծել անիզոտրոպիայի համապատասխան հարաբերակցություն:

Եզրակացություն: Բարձր ձգաբանական կայունություն ապահովելու համար կարևոր են մատրիցի մեջ բազալտե անընդմեջ թելերի հուսալի տեղակայումը, կառուցածևը և շերտերի համապատասխան ուղղվածությունն ու դասավորությունը: Թեթև զրահասալերը ձգաբանական տեսանկյունից արդյունավետ է պատրաստել զուգահեռ թելերի կարկասի և մատրիցային սոսնձող նյութից թաղանթների համախմբմամբ: Ոչ գործվածքային, չլորված, հարևան շերտերում փոխուղահայաց դասավորությամբ անընդմեջ թելերով կոմպոզիտային նյութերն ունեն ավելի բարձր դինամիկական հատկություն: Թաղանթների փաթեթը սոսնձվում կամ համապատասխան ջերմաստիճանի տակ մամլվում է: Փաթեթում թաղանթների քանակը ընտրվում է՝ զրահապաշտպանական արդյունավետությունից և տակդիրի կոշտությունից ելնելով: Մեծ կոշտությունը նպաստում է կերամիկայի թիկունքային մասում ձգող լարումներից շառավղային ճաքերի առաջացմանը և, հետևաբար, կերամիկայի քայքայմանը: Զրահաբաճկոնի մոդելի տեսական վերլուծությունից պարզվում է, որ կերամիկական սալերի ամրության սահմանն ըստ ձգման կարևոր ցուցանիշ է ընդհանուր զրահապաշտպանական համակարգում: Կերամիկա-միջուկ անմիջական համան տեղում մեծ շփման լարումներից միջուկի գլխամասի քայքայման հետևանքով հնարավոր է՝ կերամիկայում առաջանան անցանկալի լիցքաթափման ձգող ալիքներ: Կերամիկական սալի վրա բազալտի գործվածքներից վերադիր շերտ ավելացնելով՝ կարգելակվի գնդակի միջուկի արագությունը, կփոքրանա կոնական ճաքեր առաջանալու հավանականությունը:

Կերամիկական սալիկները տեղակայում են բազալտե գործվածքի փաթեթի ներսի կողմից կարված գրպանիկներում: Փաթեթի ձգաբանական արդյունավետությունը բարձրացնելու համար գործվածքների շերտերը կարվում են միմյանց հետ: Այլումինի օքսիդի կերամիկական սալիկների շերտի և բազալտի բարձրամուր թելերով ամրանավորված տակդիրի համակարգը ինքնարժեքի և հակաձգաբանական հատկության տեսանկյունից անփոխարինելի են անձնակազմի մարտական մեքենաների և մեծ ծավալի ծածկերի զրահապաշտպանության համար: Բազալտե թելերը բացառապես ջրադիմացկուն են և ուլտրամանուշակագույն ճառագայթների նկատմամբ կայուն:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Пановко Я.Г.** Введение в теорию механического удара.-М.: Наука, 1977.-224с.
2. Легкие баллистические материалы/ Под ред. А. Бхатнагара. –М.: Техносфера, 2011.-392с.
3. **Багдоев А.Г., Ваницян А.А., Григорян М.С.** Учет влияния анизотропных свойств композитных преград // IV Всероссийский симпозиум по механике композиционных материалов и конструкций. -Том 1.- М., 2012.

А.Г. ХАРАТЯН, В.П. БАРСАМЯН

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГИБКОЙ ПОДКЛАДКИ БРОНЕЖИЛЕТА НА БАЛЛИСТИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КЕРАМИЧЕСКИХ ПЛИТ

Рассматривается процесс проникновения высокотвердого и высокоскоростного сердечника огнестрельной пули в двухслойный бронезилет. Показано, что совмещение керамической плитки и композитной подкладки, армированной ударопрочными базальтовыми волокнами, дает возможность создания легкой бронезащитной системы с высокими баллистическими свойствами. Описывается влияние физико-механических, структурных и баллистических свойств отдельных слоев на показатели эффективности бронезащиты. Показано влияние механических и структурных свойств на процесс разрушения керамического слоя. Рассматривается эффективность создания накладного слоя из базальтовой ткани.

Ключевые слова: керамические материалы, растягивающие и сжимающие волны, баллистические свойства, прочность, твердость, вязкость разрушения, композитные материалы, упругопластические деформации.

A.G. KHARATYAN, V.P. BARSAMYAN

THE INFLUENCE OF THE STRUCTURE AND PHYSICO-MECHANICAL INDICATORS OF THE FLEXIBLE ARMOR PLATE ON THE BALLISTIC EFFICIENCY OF CERAMIC PLATES

The process of penetration of a bullet cope of high hardness and speed into a two-layer body armor is considered. It has been shown that the combination of a ceramic tile and a basalt impact and resistant fiber reinforced composite substrate enables the creation of a hightweight armor protection system with high ballistic properties. The effect of the physical and mechanical structural and ballistic properties of individual layers on the effective armor protection indicators of the body armor is described. The effect of the mechanical and structural properties of the flexible composite tray on the degradation process of the ceramic layer is shown. The effectiveness of creating a top layer of body armor from basalt sloth is considered.

Keywords: ceramic materials, tension and compression waves, ballistic property, strength, hardness, viscosity, composite materials, clastoplastic deformations.