

**Azərbaycan Respublikasının Təhsil Nazirliyi
Azərbaycan Texniki Universiteti**

Əlyazma hüququnda

FUAD FAZİL OĞLU HƏSƏNOV

**PERİODİK STRUKTURLU CİSİMLƏRDƏ
ÇATLARIN ƏMƏLƏ GƏLMƏSİNİN VƏ
İNKİŞAFININ MODELLEŞDİRİLMƏSİ**

2002/01 – Deformasiya olunan bərk cisim mexanikası

Texnika elmləri doktoru alimlik dərəcəsi
alınmaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı – 2017

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı. Müasir texnikanın bir çox sahələrində çoxlu sayda dəşiklərlə zəflədilmiş, digər materialdan olan liflərlə doldurulmuş cisimlər şəklində olan texniki vasitələr tətbiq olunur. Müxtəlif mexaniki xassəli mühitlərdən təşklilənmiş qeyri-bircins konstruksiya materialları, həmçinin belə materiallardan hazırlanmış konstruksiyalar və məmulatlar müasir texnikada geniş istifadə olunur. Bunlar metal-keramik, rezin-metal, müxtəlif örtüklü və s. bu kimi müxtəlif kompozit və təbəqəli materiallardır. Praktikada istifadə olunan konstruksiya materiallarının strukturu çoxlu sayda çat, boşluq və kənar birləşmə tipli qüsurlardan ibarət olduğuna görə, bu materiallar adətən qeyri-bircins olur. Qeyd olunan qüsurlar gərginliklərin toplandığı ocaqlardır. Bir qayda olaraq, gərginliklərin toplandığı ocaqların yaxınlığında dağılma prosesi başlayır. Belə konstruksiya və məmulatların istismarı prosesində çatların yaranması, mövcud olması və inkişaf etməsinə görə onların dağılması baş verir. Gərginlik toplanan ocaqların mövcud olması səbəbindən periodik strukturlu cisimlərin gərgin-deformasiya vəziyyətinin tədqiq olunması həm elmi, həm də praktik nöqteyi-nəzərdən əhəmiyyətli problemdir. Çatların əmələ gəlməsi və inkişafı haqqında dağılma mexanikası məsələlərinin tədqiq olunması bütün mühəndis sahələri üçün aktualdır.

Ənənəvi ərintilər qarşısında bir sıra üstünlüklərə və periodik struktura malik olan yeni kompozit materialların yaradılması texnologiyasının intensiv inkişafı ilə əlaqədar olaraq, deformasiya olunan bərk cisim mexanikasının gərgin-deformasiya vəziyyətinin və elastik əlavə birləşməli cisimlərin dağılma parametrlərinin hesablanması üzrə məsələlər xüsusi aktuallıq kəsb edir. Kompozit materialların hesablama metodlarının işlənilib hazırlanması zamanı doldurucu (birləşdirici) matris ilə gücləndirici liflərin qarşılıqlı təsirinin, birləşmələrin qarşılıqlı yerləşməsinin, dağılma mümkünlüyünün və s. tədqiq olunmasına ehtiyac yaranır. Strukturları nəzərə alınmaqla, materialların mexaniki xassələrinin tədqiq olunması zamanı modelləşdirmə problemləri həmişə aktual olmuşdur. Belə problemlərin həlli materialların deformasiyasının, möhkəmliyinin və dağılmaya müqavimətinin makroskopik xarakteristikalarının onun struktur parametrlərindən sayca asılılıqlarının alınmasına gətirib çıxarır. Qeyd olunan

sayca asılılıqlara malik olmaqla yeni konstruksiya materiallarının, konstruksiyaların, sınaq üsularının layihələndirilməsi mərhələsində parametrlər üzrə optimallaşdırma aparılması mümkündür.

Bununla əlaqədar olaraq, periodik strukturlu yeni kompozit materialların mexaniki davranışının analitik-ədədi modelləşdirilməsi məsələləri əhəmiyyətli rol oynayır.

Periodik strukturlu kompozit materialların mexaniki xassələrinin riyazi təsviri və modelləşdirilməsi metodları sahəsində yerli və xarici ölkə alimləri tərəfindən fəal surətdə müxtəlif elmi işlər aparılır. Bu nəzəri işlərin məqsədi kompozit materialların deformasiyası və dağılması proseslərinin analitik və ədədi modelləşdirilməsi üçün elmi bazanın yaradılmasından ibarətdir. Belə tədqiqatlar kompozit materialların mikro- və makrosəviyyələrdə deformasiyasının, möhkəmliyinin və çata davamlılığının effektiv xarakteristikaları ilə bu materialların struktur parametrləri arasında qarşılıqlı əlaqəni müəyyən etməyə imkan verir.

Çatı olmayan cisimlər üçün konstruksiya materiallarının həddi vəziyyətinin ilkin şərtlərinin bərqərar olması barədə Q.Qaliley, M.Sen-Venan, Ş.Kulon, O.Mor, E.Beltram kimi görkəmli alimlərin işlərində tanış olmaq olar. Bu problem üzərində A.A.İlyuşin, Y.N.Rabotnov, Y.B.Fridman, D.Draker, V.Prager, D.D.İvlev, A.A.Lebedev, Q.S.Pisarenko, B.İ.Kovalçuk, V.P.Baqmutov və bir sıra digər əcnəbi alimlər də işləmişlər.

Həddi şərtlərin formalaşdırılması nöqtə ətrafında kritik vəziyyəti müəyyən edir və dağılma prosesinin, o cümlədən yeni maddi səthlərin əmələ gəlməsi prosesinin sonrakı inkişafını nəzərdən keçirmir.

Materialların və konstruksiyaların möhkəmliyi haqqında elmin inkişafının müasir mərhələsində konstruksiya materiallarının dağılma mexanikası konsepsiyalarına böyük diqqət yetirilir. Bu zaman dağılma prosesi, yəni möhkəmliyin itirilməsi deformasiya olunan bərk cisimlərdə çatın əmələ gəlməsi və inkişafı prosesi kimi nəzərdən keçirilir. Real konstruksiya materiallarının dağılması kifayət qədər mürəkkəb xarakterə malikdir və müxtəlif materiallar üçün müxtəlifdir. Bu, materialın strukturunun, onun kimyəvi tərkibinin, gərginliyin növünün və s. xüsusiyyətləri ilə əlaqədardır. Konstruksiya materiallarının mikrosəviyyədə dağılma proseslərinin təhlil olunmasının möhkəmlik fizikasına və fiziki materialşünaslığa əsaslanan tədqiqat metodlarından istifadəsinə ehtiyacı vardır.

Müasir maşınqayırmada dəşikli cisimlər şəklində olan detallar geniş istifadə olunur. Müasir konstruksiya və cihazların çoxunun möhkəmliyə hesablanması çat tipli qüsurlar mövcud olduğu halda dəşikli elementlərin yerdəyişməsi barədə bir sıra mürəkkəb məsələlərin qoyulmasını və həllini tələb edir. Kövrək cisimlərin dağılma nəzəriyyəsinin qurulması üçün isə qüvvə və istilik faktorlarının təsiri zamanı dəşiklərin yaxınlığındakı gərginliklərin tədqiq olunması tələb olunur. Buna görə də yuvaların, daxiletmələrin yaxınlığında çatların böyüməsinin tədqiq olunması çox aktualdır.

Dissertasiyada verilmiş xülasədə göstəriləyi kimi, eninə və uzununa yerdəyişmələr zamanı yadcinsli elastik daxiletmələrin və düzətli çatların qarşılıqlı əlaqəsi məsələləri hələ kifayət qədər öyrənilməmişdir. Energetika qurğularının, kimyəvi cihazların, inşaat texnikasının və digər sahələrin yeni texnikasının inkişaf etməsi ilə əlaqədar olaraq, bu məsələlərin tədqiq olunması əhəmiyyətlidir.

Lakin dəşikli cisimlərin gərgin-deformasiya vəziyyətinin qiymətləndirilməsi hal-hazırədək öz tam həllini tapmamışdır. Müəlliflərin əksəriyyəti Qrffits çatı, yəni sahilləri qarşılıqlı təsirdə olmayan çat halı ilə kifayətlənmişlər. Belə çatın ucundakı gərginlik və deformasiya sahələrinin sinqulyarlığının səbəbi fiziki reallıq deyil, onun riyazi təsvir olunmasıdır. Kompozit materiallardakı sahillər arasındakı rabitələr dağılmanın inkişafını dayandırır. Çatın rabitələrlə əhatə olunmuş (dağılmadan əvvəlki uc zonanın) hissəsinin ölçüsü böyüdüyü zaman bu effekt güclənir. Əgər çatın uc zonasının uzunluğu çatın ölçüsü ilə müqayisədə kiçik deyilsə, onda kiçik uc zonalı çatın nəzərdən keçirilməsinə əsaslanan, çata dayanıqlılığın təqribi qiymətləndirmə metodları tətbiq olunmur. Bu hallarda, rabitələrin deformasiya xarakteristikalarını nəzərə almaqla və çat inkişaf etdiyi zaman həm çatın zirvəsinin hərəkətini, həm də çatın uc zonasının dəyişməsinə təsvir edən dağılma meyarından istifadə etməklə çatın uc zonasında gərgin vəziyyəti birbaşa modelləşdirmək lazımdır. Çatın uc zonasının modelləşdirilməsi imkanlarından biri onun çatın hissəsi (davamı) kimi və uc zonada çatın səthinə onun açılmasını dayandıran ilişmə qüvvələrinin aşkar tətbiqinin nəzərdən keçirilməsindən ibarətdir. Uc zonalarındakı sahilləri qarşılıqlı təsirdə olan çat modelləri mahiyyətə çatın böyüməsinin tədqiqi zamanı dağılmanın mexanika və fizikasına yanaşmaların birləşdirilməsinə imkan verir.

Uc zonalarındaki sahilləri arasında rabitələri olan çat modeli müxtəlif miqyaslardakı dağılmada istifadə oluna bilər və nano-, mezo- və makrocəviyyələrdə qüsurların əmələ gəlməsi, çatın formalaşması və inkişaf mərhələləri də daxil olmaqla, kompozit materialların dağılma prosesinin vahid mövqeydən nəzərdən keçirilməsinə imkan verir. Materialların elastik-plastik davranışına və yüklənmələrin müxtəlif növlərinə tətbiqən aşkar qeyri-xətti qarşılıqlı təsir qanunlarının nəzərə alındığı çat modellərinin intensiv inkişafı məhz bununla əlaqədardır.

Kompozit materiallardakı çatların əmələ gəlməsinin tədqiq olunmasına göstərilən maraq birbaşa yeni yüksək möhkəmliyə malik materialların layihələndirilməsi ilə bağlıdır. Bununla əlaqədar olaraq, kompozit materiallarda çatların əmələ gəlməsinin yeni riyazi modellərinin işlənilməsi hazırlanması aktualdır. Belə tədqiqatların aktuallığının səbəbi texnikanın və sənayenin müxtəlif sahələrində kompozit materiallardan hazırlanmış konstruksiya və məmulatların geniş tətbiq olunmasıdır. Çatların yerdəyişməsi və əmələ gəlməsi zamanı möhkəmləndirilmiş kompozitin daxiletməsi yaxınlığında nəzəri olaraq təsvir edilən gərgin-deformasiya vəziyyətinin riyazi modellərinin işlənilməsi hazırlanması üzrə tədqiqatlar praktik olaraq mövcud deyil.

Dissertasiya işində verilmiş xülasə göstərir ki, periodik strukturlu cisimlərdəki çatların əmələ gəlməsi və inkişafına dair tədqiqatlara ehtiyac vardır. Belə problemlərin həlli periodik struktura malik olan deformasiya olunan bərk cisimdə çatların əmələ gəlməsinin və onun dağılmasının riyazi modelləşdirilməsi ilə bağlıdır. Bununla əlaqədar olaraq, müxtəlif yüklənmələr zamanı deformasiya olunan bərk cisimdə çatların əmələ gəlməsini və bu cisimlərin dağılmasını təsvir edən riyazi modelin qurulması üzrə tədqiqatların aparılması lazımdır.

Bu dissertasiya işi çatların əmələ gəlməsinin riyazi modelləşdirilməsi məsələlərinə və eninə və uzununa yerdəyişmə şərtlərində absis və ordinat oxları boyunca iki çat sisteminin qarşılıqlı təsiri və inkişafı məsələlərinin həllinə həsr olunmuşdur.

İşin məqsədi periodik strukturlu cisimlərdəki dağılmadan əvvəlki uc zonalı çatların əmələ gəlməsi və inkişafını təsvir etməyə imkan verən riyazi modelin qurulmasından; dairəvi deşiklər və sahilləri arasında rabitəsi olan uc zonalı düzxətli çatlar sistemi ilə zəiflədilmiş deformasiya olunan bərk cismin gərgin-deformasiya vəziyyəti məsələlərinin, habelə yadəcinsli elastik daxiletmələrin və yerdəyişən çatlar

sisteminin qarşılıqlı vəziyyətinin çatların böyüməsi meyarına təsirinin tədqiq olunmasından ibarətdir.

İşin elmi yeniliyi aşağıdakılardan ibarətdir:

- periodik strukturlu materiala malik olan bərk cisimlər üçün geniş sinifli dağılma mexanikası məsələlərinin modelləşdirilməsinə və həllinə vahid yanaşma inkişaf etdirilmişdir;

- yadəcinsli elastik daxiletmələr ilə eninə və uzununa yerdəyişmə zamanı absis və ordinat oxlarına kollinear olan dağılmadan əvvəlki uc zonalı düzxətli çatlar sisteminin qarşılıqlı təsiri haqqında qeyri-xətti dağılma mexanikasının yeni geniş sinif müstəvi məsələləri həll edilmişdir;

- ilk dəfə olaraq, materialı periodik struktura malik deformasiya olunan cisimlərdə yerdəyişən çatların əmələ gəlməsi barədə dağılma mexanikasının müstəvi məsələləri sinfi həll edilmişdir;

- mühitdə çatların yaranması baş verdiyi zaman periodik struktulu cisimlərin kritik yüklənmə parametrlərinin hesablanması metodu işlənib hazırlanmışdır;

- periodik strukturlu cisimlərdə çatların əmələ gəlməsini proqnozlaşdırmağa imkan verən belə strukturlu, deformasiya olunan bərk cisimdə yerdəyişən çatların əmələ gəlməsi meyarı formalaşdırılmışdır;

- periodik strukturlu deformasiya olunan cisimlər üçün sərhədləri məlum olmayan elastiklik nəzəriyyəsinin yeni sinif məsələləri həll edilmişdir;

- yüklənmə parametrlərindən, mühitin həndəsi və fiziki parametrlərindən asılı olaraq uc zonaların (rabitələri zəifləmiş zonaların) uzunluqlarının, onun ucunda çatın yerdəyişməsinin, dağılmadan əvvəlki uc zonaların sahilləri arasındakı rabitə qüvvələrinin asılılıqları alınmışdır;

- möhkəmləndirici liflərin qarşılıqlı yerləşməsinin deformasiya olunan bərk cismin deformasiyasına və dağılmasına təsiri və uc zonalarındakı sahilləri arasında rabitəsi olan çatların qarşılıqlı təsirləri tədqiq olunmuşdur.

Tədqiqatın ümumi metodikası. Nəzərdən keçirilən məsələlərin təklif olunan həlli üsulları müxtəlif analitik və ədədi metodların kombinasiyasından ibarətdir. Onlardan əsas olanları Musxelişvilinin dərəcə sıraları metodu, sonsuz xətti cəbri tənliklər sisteminin reduksiya metodu, əsas elementi seçilməklə Qauss metodudur. Məsələlər,

realizəsi ədədi məlumatlar əldə etməyə imkan verən hesablama sxemlərinə gətirilir və onların əsasında əlavələr üçün maraq kəsb edən nəticələr çıxarılır.

Müdafiyə aşağıdakı nəticələr çıxarılır:

- periodik strukturlu cisimlərdə çətin əmələ gəlməsinin modelləşdirilməsi;

- periodik strukturlu deformasiya olunan bərk cisimlərin dağılmasının riyazi təsviri;

- dağılma mexanikasının sərhədləri məlum olmayan yeni sinif müstəvi məsələlərinin qoyulması və həlli;

- periodik strukturlu cisimlər üçün dağılmadan əvvəlki uc zonalı yerdəyişən çatların inkişafı prosesinin riyazi modelləşdirilməsi;

- dağılmadan əvvəlki uc zonalı yerdəyişən çatlar mövcud olduğu zaman dəyişikli cisimlərin gərgin vəziyyətinin modelləşdirilməsi;

- periodik strukturlu deformasiya olunan bərk cisimlər üçün qeyri-xətti dağılma mexanikasının yeni sinif məsələlərinin qoyulması və həlli;

- kompozit materialda yerdəyişən çatların uc zonalarının sahilələrinin və materialın ilişmə qüvvələrinin qarşılıqlı təsirinin qüsurların inkişafına təsiri;

- deformasiya olunan cisimdə zədələnmələrin və yadcinsli elastik daxiletmələrin (liflərin) qarşılıqlı təsirinin modelləşdirilməsi.

Alınmış nəticələrin etibarlılığı qoyulmuş məsələlərin fiziki və riyazi cəhətdən düzgünlüyü, məsələlərin həllinin ciddi analitik metodlarla qurulması, son analitik və ədədi nəticələrin xüsusi hallarda ədəbiyyatda mövcud olan məlum nəticələrlə müqayisəsi ilə təmin edilir.

İşin praktik dəyəri nəzərdən keçirilən məsələlərin yuxarıda qeyd olunan praktik əlavələrinin geniş dairəsi ilə, həmçinin isdə alınmış elmi nəticələrin materialın layihələndirilməsi zamanı bilavasitə mühəndis hesablamalarının aparılmasında istifadə olunmasına, material tərkiblərinin işlənilib hazırlanması və hazırlanma texnologiyası zamanı meyarlardan biri olan materialın çətin dayanıqlığı üzrə elmi cəhətdən əsaslandırılan tələblərin müəyyənləşdirilməsinə imkan verən analitik düsturlar, qrafiklər, cəbri sistemlər şəklində təqdim olunması ilə müəyyən olunur.

İşin aprobeiyası. Dissertasiya işinin nəticələri məruzə olunmuşdur:

– "Deformasiya olunan bərk cisim mexanikasının, riyazi model-ləşdirmənin və informasiya texnologiyalarının fundamental və tətbiqi problemləri" Beynəlxalq elmi-texniki konfransında, Çeboksarı, 12-15 avqust 2013-cü il;

– "Materialların və nano materialların deformasiyası və dağılması - DFMN 2013" V Beynəlxalq konfransında, Moskva, 26-29 noyabr 2013-cü il;

– "Riyaziyyatın, mexanikanın, informatikanın müasir problemləri" Beynəlxalq elmi konfransında, Tula, 16-20 sentyabr 2013-cü il;

– "Qeyri-bircins struktur mexanikasının riyazi problemləri" IX Beynəlxalq elmi konfransında, Lvov, 15-19 sentyabr 2014-cü il;

– "Bərk cisimlərin nəzəri və tətbiqi mexanikasının, deformasiyasının və dağılmasının müasir problemləri", Moskva, 22-26 sentyabr 2014-cü il;

– "Riyaziyyatın, mexanikanın, informatikanın müasir problemləri" Beynəlxalq elmi konfransında, Tula, 15-19 sentyabr 2014-cü il;

– Azərbaycan Texniki Universitetinin "Texniki mexanika" kafedrasının elmi seminarlarında.

Dissertasiya Azərbaycan Texniki Universitetinin "AD və YHT" kafedrasının geniş elmi seminarında ümumən məruzə olunmuş və müzakirə edilmişdir.

Müəllifin şəxsi töfhəsi. Dissertasiyanın bütün əsas müddəaları şəxsən müəllifə məxsusdur. Həmmüəllifliklə yazılmış işlərdə yalnız, məsələlərin qoyuluşu və müzakirəsi həmmüəllifə məxsusdur.

Nəşrlər. Dissertasiya işinin materialları üzrə 31 iş nəşr olunmuşdur.

İşin strukturu və həcmi. Dissertasiya isə giriş hissədən, beş fəsil-dən, nəticələr və ədəbiyyat siyahısı hissələrindən ibarətdir. O, 52 şəkilin və 224 adda yerli və xarici ədəbiyyatın biblioqrafiyasının daxil olduğu 332 səhifədən ibarətdir.

İŞİN MƏZMUNU

Giriş hissədə nəzərdən keçirilən problemlərin məqsəd və aktual-lığı qısa şəkildə müəyyən olunmuş, mövzu üzrə tədqiq olunan məsə-lələrin qısa xülasəsi və fəsillər üzrə dissertasiyanın xarakteristikası verilmişdir.

Birinci fəsil. Dissertasiyanın bu fəslı enınə yerdəyişmə zamanı periodik strukturlu cisimlərdə çatların əmələ gəlməsi barədə məsələlərin modelləşdirilməsinə və həllinə həsr olunmuşdur.

Bu fəslin birinci paraqrafında periodik dairəvi dəşiklər sistemi ilə və materialın dəşiklərin konturuna çıxan hissəciklərarası rəbitəsi zəifləmiş zonaları ilə zəiflədilmiş izotrop elastik mühitin enınə yerdəyişməsi zamanı çatların əmələ gəlməsi haqqında dağılma mexanikası məsələləri nəzərdən keçirilir. Qəbul edilmişdir ki, dairəvi dəşiklərin konturları xarici yükləmələrdən azaddır.

Xarici yükləmələrin intensivliyi artdıqca gövdədəki dəşiklər ətrafında yerləşməsi periodik xarakter daşıyan yüksək gərginliklər zonası yaranır. Xarici yükləmənin τ_y^∞ artması ilə dəşiklərin səthində dağılmadan əvvəlki zonalar meydana gəlir, hansılar ki, materialda hissəciklərarası rəbitəsi zəifləmiş oblastlar kimi modelləşdirilir. Bu oblastların sahillərinin qarşılıqlı təsiri verilmiş deformasiya diaqramına malik olan sahillərarası rəbitələrin daxil edilməsi yolu ilə modelləşdirilir.

Hesab edilir ki, dairəvi dəşiklərin konturlarından absis və ordinat oxları üzrə kollinear istiqamətlənmiş, eyni uzunluqda olmayan, simmetrik düzxətli dağılmadan əvvəlki zonalar çıxır.

Tədqiq olunan halda dəşikli gövdədə çat rüşeymlərinin yaranması dağılmadan əvvəlki oblastın materialın səthləri arasında rəbitəsi qırılmış oblasta keçməsi prosesini təsvir edir. Bu zaman materialın hissəciklərarası rəbitəsi zəifləmiş zonasının ölçüləri əvvəlcədən məlum deyil və məsələnin həlli prosesində təyin olunmalıdır. Dəşikli cismə xarici yükləmələr təsir etdiyi zaman materialın hissəciklərarası rəbitəsi zəifləmiş zonalarının sahillərini birləşdirən rəbitələrdə müvafiq olaraq $q_y(x)$ və $q_x(y)$ toxunan qüvvələri yaranır. Bu gərginliklər əvvəlcədən məlum deyil və təyin olunmalıdırlar.

Dairəvi dəşiklərin konturlarındakı və dağılmadan əvvəlki düzxətli zonaların sahillərindəki sərhəd şərtləri əsasında məsələ aşağıdakı kənar şərtlərdən yeganə $F(z)$ analitik funksiyasının təyin olunmasına gətirilir:

$$F(\tau)e^{i\theta} - \overline{F(\tau)}e^{-i\theta} = 0, \quad (1)$$

$$F(x) - \overline{F(x)} = -2iq_y(x) \quad L\text{-də},$$

$$F(y) - \overline{F(y)} = -2iq_x(y) \quad L_1\text{-dƏ}, \quad (2)$$

burada $\tau = \lambda e^{i\theta} + m\omega$ ($m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$); λ – deşiyin radiusu; x və y – müvafiq olaraq absis və ordinat oxları üzrə istiqamətlənmiş dağılmadan əvvəlki zonaların sahillərinin affiks nöqtələri; θ – polyar bucaqdır.

Qoyulmuş məsələnin əsas münasibətlərini dağılmadan əvvəlki zonaların sahillərinin yerdəyişməsi ilə rabitə qüvvələrini əlaqələndirən münasibətlərlə tamamlamaq lazımdır.

$$w^+(x, 0) - w^-(x, 0) = C(x, q_y(x))q_y(x) \quad (3)$$

$$w^+(0, y) - w^-(0, y) = C(y, q_x(y))q_x(y) \quad (4)$$

Burada $C(x, q_y(x))$ və $C(y, q_x(y))$ – rabitələrin effektiv uyğunluğu; $(w^+ - w^-)$ – dağılmadan əvvəlki zonanın sahillərinin yerdəyişməsidir.

Dairəvi deşiklərdən kənar dağın gərginliklərin periodik paylanan sinif məsələlərini təsvir edən həllərin ümumi təsvirləri qurulur. Deşiklərin və dağılmadan əvvəlki zonaların sahillərinin konturlarındakı səhəd şərtlərini ödəməklə sonsuz cəbri sistem və iki qeyri-xətti sinqulyar inteqral tənliklər sistemi alınmışdır. Sonra, Multopp-Kalandiy metodundan istifadə edərək, inteqral tənliklərin həlli iki sonsuz cəbri sistemə gətirilmişdir.

Bu tənliklərin və dağılmadan əvvəlki zonaların sahillərinin və rabitələrdəki toxunan gərginliklərin yerdəyişməsini əlaqələndirən iki əlavə münasibətin həllindən çatların əmələ gəldiyi zonalardakı qüvvələr tapılır. Çatın meydana gəlməsi şərti materialın rabitələrinin həddi yerdəyişmə meyarı nəzərə alınmaqla formalaşdırılır.

$$w^+ - w^- = \delta_c, \quad (5)$$

burada δ_c – deşikli cisim materialının çatın əmələ gəlməsinə müqavimət xarakteristikasıdır.

Alınmış münasibətlər uzununa yerdəyişmə zamanı deşikli izotrop cisimdə çatın əmələ gəlməsini tədqiq etməyə imkan verir.

İkinci paragrafda çatın əmələ gəlməsi prosesi zonasının nəzərdən keçirilməsinə əsaslanan periodik strukturlu kompozitlərdə çatın əmələ gəlməsi modeli təklif edilmişdir. Hesab edilir ki, çatın əmələ gəlməsi prosesinin zonası ayrı-ayrı struktur elementləri arasında

rabitələri qismən pozulmuş materialdan ibarət olan, sonlu uzunluğa malik təbəqədir. Dağılmadan əvvəlki zonanın (materialın hissəciklər-arası rabitələri zəifləmiş zonaları) sahilləri arasında rabitələrin mövcudluğu rabitələrin iştirakının səbəb olduğu ilişmə qüvvələrinin dağılmadan əvvəlki zonanın səthinə tətbiq olunması ilə modelləşdirilir. Uzununa yerdəyişmə zamanı kompozit materialın dağılmadan əvvəlki zonasının həddi müvazinəti materialın rabitələrinin həddi yerdəyişmə meyarı əsasında yerinə yetirilir və ona, ilişmə qüvvələrinin dağılmadan əvvəlki zonaların sahillərinin yerdəyişməsindən asılılığının müəyyənləşdirilməsi; xarici yüklənmələr və ilişmə qüvvələri, həmçinin sərt daxiletmələrin qarşılıqlı yerləşməsi nəzərə alınmaqla dağılmadan əvvəlki zonanın yaxınlığında gərgin vəziyyətin qiymətləndirilməsi; xarici kritik yüklənmələrin çətin əmələ gəlmiş tərkib mühitinin həndəsi parametrlərindən asılılığının təyin olunması daxildir.

Tutaq ki, radiusu λ ($\lambda < 1$) və mərkəzləri $P_m = m\omega$ ($m=0, \pm 1, \pm 2, \dots$), $\omega=2$ nöqtələrində olan periodik dairəvi deşiklər sistemi ilə zəiflədilmiş izotrop mühit mövcuddur.

Mühitin dairəvi deşikləri dövrə boyunca lehimlənmiş mütləq sərt daxiletmələrlə (liflərlə) doldurulmuşdur. Nəzərdən keçirilən müstəvi τ_y^∞ qüvvələri ilə uzununa yerdəyişməyə məruz qalmışdır. Belə müstəvidə xarici yüklənmələr artdıqca deşiklərin ətrafında yerləşməsi periodik xarakter daşıyan yüksək gərginlik zonaları yaranır. Yüksək gərginlik zonalarında çatlar əmələ gələ bilər.

Nəzərdən keçirilən halda sərt daxiletmələrlə doldurulmuş periodik dairəvi deşiklər sistemi ilə zəiflədilmiş mühidə çat əmələ gəlməsinin riyazi təsviri üçün dağılmadan əvvəlki zonası mövcud olan zona üçün sərhədləri məlum olmayan elastiklik nəzəriyyəsi məsələsinə gəlirik. Dağılmadan əvvəlki zonalar maksimal toxunan gərginliklər istiqamətində yönəlmişdir. Mürəkkəb cismə xarici yüklənmələrin təsiri zamanı dağılmadan əvvəlki zonaların sahillərini biləşdirən rabitələrdə $q_y(x)$ toxunan qüvvələri meydana gəlir.

Bu birləşmələr əvvəlcədən məlum deyil və dairəvi deşiklərin çevrəsi boyunca elastik yerdəyişmələrin olmadığını ifadə edən sərhəd şərtləri və dağılmadan əvvəlki zonaların sahillərindəki aşağıdakı şərt-

lär üzrə elastiklik nəzəriyyəsinin kənar məsələsinin həllindən təyin olunmalıdır.

$$w = 0 \quad \text{dairəvi deşiklərin konturlarındakı} \quad (6)$$

$$\tau_y = q_y(x) \quad \text{dağılmadan əvvəlki zonanın sahillərindəki} \quad (7)$$

Xarici həddi yüklənməni təyin edən şərt aşağıdakı şəkildə tapılmışdır:

$$C(d, q_y(d))q_y(d) = \delta_{IIIc}, \quad (8)$$

Burada d -nin qiyməti dağılmadan əvvəlki zonanın orta hissəsində yerləşir (a, b) .

τ_y^∞ yüklənmə parametridən asılı olaraq rabitələrdəki qüvvələr, dağılmadan əvvəlki zonanın və dağılmadan əvvəlki zonanın qarşı tərəf sahillərinin uzununa yerdəyişməsinin ölçüləri ədədi hesablamalarla tapılmışdır.

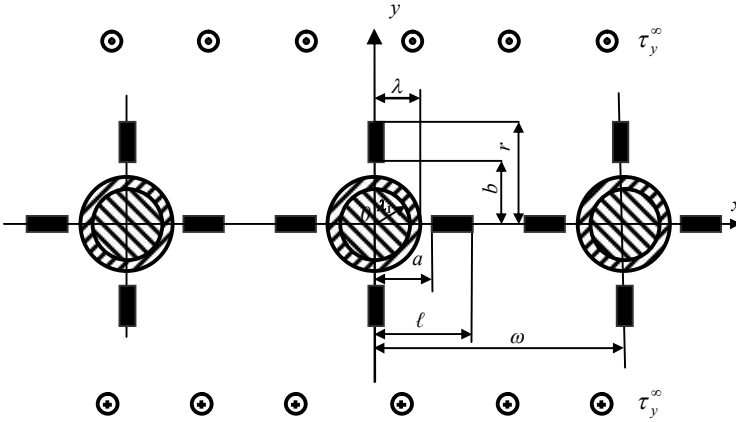
Birləşmiş cəbri sistemin və şərtlərin (8) birgə həlli xarici yüklənmənin kritik qiymətini (materialın çata davamlılığının verilmiş xarakteristikalarında), çətin əmələ gəlməsinin baş verdiyi zaman həddi müvazinət halı üçün dağılmadan əvvəlki zonanın ölçülərini təyin etməyə imkan verir.

Bu fəsilin üçüncü paragrafı uzununa yerdəyişmə zamanı xətti möhkəmləndirilmiş kompozitlərdəki liflərdə çətin əmələ gəlməsini təsvir edən riyazi modelin qurulmasına həsr olunmuşdur.

Bu paragrafda qeyri-bircins tərkibli cismin əks-müstəvi deformatsiyası nəzərdən keçirilir. Hesab edilir ki, əlaqələndirici periodik sistemli dairəvi deşiklərlə zəiflədilmişdir. Əlaqələndiricinin dairəvi deşikləri yadcinsli materialdan olan elastik həlqələrlə (liflərlə) doldurulmuş və çevrə boyunca lehimlənmişdir.

§1.4-də uzununa yerdəyişmə zamanı eyni istiqamətli liflərlə möhkəmləndirilmiş kompozitlərdə çət əmələ gəlməsinin riyazi modelləşdirilməsi verilmişdir. Uzununa yerdəyişmə zamanı xətti möhkəmləndirilmiş kompozitlərdə çətin əmələ gəlməsi barədə qeyri-xətti mexanika məsələsi nəzərdən keçirilmişdir. Hesab edilir ki, eyni istiqamətli liflərin (daxiletmələrin) səthi bircins silindrik plyonka ilə bərabər örtülmüşdür (şəkil 1). Cismin bircins hissəsinə (kompozitə) $\tau_y = \tau_y^\infty$, $\tau_x = 0$ gərginliyi təsir edir (sonsuzluqda uzununa yerdəyişmə).

Xarici yüklənmələrin intensivliyi artdıqca kompozitdə (əlaqələndiricidə) dəşiklərin ətrafında yerləşməsi periodik xarakter daşıyan yüksək gərginlik zonaları əmələ gəlir. τ_y^∞ artdıqca materialda hissəciklərarası rabitələri zəifləmiş oblastlar olaraq modelləşdirilən dağılmadan əvvəlki zonalər yaranır.



Şəkil 1. Uzununa yerdəyişmə zamanı kompozitdə çat yaranmasının hesablanma sxemi

Bu oblastların sahillərinin qarşılıqlı təsiri sahillər arasında verilmiş deformasiya diaqramlı rabitələrin daxil edilməsi yolu ilə modelləşdirilir. Belə rabitələrin fiziki təbiəti və dağılmadan əvvəlki zonaların ölçüləri materialın növündən asılıdır. Göstərilən zonalər (materialın yenidən gərginləşmiş araqatı) mühitin qalan hissəsi ilə müqayisədə kiçik olduğuna görə, onları kəsiklərlə əvəz edərək xəyalən kənarlaşdırmaq olar. Bu kəsiklərin səthləri kənarlaşdırılmış materiala uyğun olan müəyyən qanunlar üzrə öz aralarında qarşılıqlı əlaqədədir. Lif-örtük və örtük-əlaqələndirici sərhədlərindəki ideal təmas halında yerdəyişmə və gərginliklər bərabər olur.

Sərhəd şərtləri və əlaqələndirici materialın tutduğu D oblastının həndəsi ölçüləri simmetrik olduğuna görə, gərginliklər əsasən periodu ω olan periodik funksiyalardır.

Tutaq ki, əlaqələndiricidə absis və ordinat oxlarına kollinear istiqamətlənən, müxtəlif uzunluqlu dağılmadan əvvəlki iki periodik

zona sistemi vardır. Tədqiq olunan halda eyni istiqamətli liflərlə möhkəmləndirilmiş kompozitlərdə çat rüşeymlərinin yaranması materialın dağılmadan əvvəlki oblastının onun səthləri arasında rabitələri qırılmış oblastına keçməsi prosesini ifadə etdir. Bu zaman dağılmadan əvvəlki oblastın L_1 və L_2 ölçüləri əvvəlcədən məlum deyil və məsələnin həlli prosesində təyin olunmalıdır. Kompozitə xarici yükləmənin təsiri zamanı dağılmadan əvvəlki zonanın sahillərini birləşdirən rabitələrdə uyğun olaraq $q_y(x)$ və $q_x(y)$ toxunan qüvvələri yaranır. Bu gərginliklər əvvəlcədən məlum deyil və dağılma mexanikasının kənar məsələsinin həlli prosesində təyin olunmalıdır.

$f(z)$ analitik funksiyası vasitəsi ilə gərginlik ifadələrindən və yerdəyişmələrdən istifadə etməklə məsələnin sərhəd şərtləri aşağıdakı şəkildə təqdim olunur

$$f_b(\tau_1) + \overline{f_b(\tau_1)} = f_t(\tau_1) + \overline{f_t(\tau_1)} \quad (9)$$

$$\mu_b \frac{d}{ds} [f_b(\tau_1) - \overline{f_b(\tau_1)}] = \mu_t \frac{d}{ds} [f_t(\tau_1) - \overline{f_t(\tau_1)}]$$

$$f_t(\tau) + \overline{f_t(\tau)} = f_s(\tau) + \overline{f_s(\tau)} \quad (10)$$

$$\mu_t \frac{d}{ds} [f_t(\tau) - \overline{f_t(\tau)}] = \mu_s \frac{d}{ds} [f_s(\tau) - \overline{f_s(\tau)}]$$

$$F_s(t) - \overline{F_s(t)} = -2iq_y(t) \quad L\text{-də} \quad (11)$$

$$F_s(t_1) - \overline{F_s(t_1)} = -2iq_x(t_1) \quad L_1\text{-də,}$$

burada $\tau = \lambda e^{i\theta} + m\omega$; $\tau_1 = (\lambda - h)e^{i\theta} + m\omega$ ($m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$); t və t_1 – müvafiq olaraq, absis və ordinat oxlarına kollinear istiqamətlənən dağılmadan əvvəlki zonaların sahillərinin affiks nöqtələri; h – örtüyün qalınlığı; t, b, s, μ – yerdəyişmə modulu (örtüyə, lifə, və əlaqələndiriciyə aid olan kəmiyyətlər); θ – polyar bucaqdır.

Qoyulmuş məsələnin əsas münasibətlərini dağılmadan əvvəlki zonaların sahillərinin yerdəyişməsi ilə rabitələrdəki qüvvələri əlaqələndirən (3) – (4) münasibətləri ilə tamamlamaq lazımdır.

Uzununa yerdəyişmə zamanı kompozitlərdə periodik paylanan gərginliklər məsələsi sinfini ifadə edən ümumi təsəvvürlər qurulur. Mühitin ayrılma sərhədindəki və dağılmadan əvvəlki zonaların sahillərindəki məsələnin sərhəd şərtlərini ödəməklə, bir neçə sonsuz xətti cəbri tən-

liklər sisteminin və iki qeyri-xətti integrodifferensial tənliklər sisteminin cəmi alınmışdır. Alınmış sistemlərin sağ tərəfinə müvafiq olaraq, dağılmadan əvvəlki zonalara məxsus olan qovşaq nöqtələrindəki q_y və q_x gərginliklərinin məlum olmayan qiymətləri daxildir. Rabitələrdəki məlum olmayan q_y və q_x gərginlikləri dağılmadan əvvəlki zonaların sahilləri ilə rabitələrdəki toxunan gərginlikləri əlaqələndirən tamamlayıcı münasibətlərdən təyin olunur.

Dağılmadan əvvəlki zonalara məxsus qovşaq nöqtələrindəki əlavə şərtlərin ödənilməsinə tələb etməklə müvafiq olaraq, $q_y(\eta_r)$ və $q_x(\eta_r)$ ($r = 1, 2, \dots, M$) qiymətlərinin təyin olunması üçün hər biri M sayda tənliklərdən ibarət olan daha iki sistem alınmışdır. Bu zaman son fərqlər metodundan istifadə olunmuşdur. Ədədi hesablamalar nəticəsində dağılmadan əvvəlki zonanın uzunluğunun, rabitə qüvvələrinin və dağılmadan əvvəlki zonaların qarşı sahillərinin yerdəyişməsinin τ_y^∞ yüklənmə parametridən və mühitin həndəsi və fiziki xarakteristikalarından asılılığı tapılmışdır.

Çatın əmələ gəlməsi üçün xarici yükləmə həddini təyin edən şərt alınmışdır.

Birinci fəsilin beşinci paragrafında uzununa yerdəyişmədə eyni istiqamətli ortotrop liflərlə möhkəmləndirilmiş kompozitdə çat əmələ gəlməsinin riyazi modelləşdirilməsi verilmişdir. Səthləri bircins silindrik plyonka ilə bərabər örtülmüş ortotrop elastik daxiletmələrin qarşılıqlı təsiri və izotrop müstəvidə absis və ordinat oxlarına kollinear sahilləri arasında rabitəsi olan dağılmadan əvvəlki düzxətli zonalar (zəiflədilmiş zonalar) haqqında qeyri-xətti dağılma mexanikası məsələsinə baxılmışdır. Çat əmələ gəlməsi prosesində həmin zonanın nəzərdən keçirilməsinə əsaslanan periodik strukturlu kompozitlərdə çat əmələ gəlməsinin modeli təklif olunmuşdur.

İkinci fəsil. Dissertasiya işinin ikinci fəslə eninə yerdəyişmə zamanı periodik strukturlu cisimlərdə çatların əmələ gəlməsi haqqında məsələnin modelləşdirilməsinə və həllinə həsr olunmuşdur.

Birinci paragrafda eninə yerdəyişmə zamanı periodik dairəvi deşiklər sistemi ilə zəiflədilmiş izotrop mühidə çatların əmələ gəlməsinin riyazi modeli qurulmuşdur.

Hesab edilmişdir ki, dairəvi dəşiklərin konturları xarici yükləmələrdən azaddır. Müstəvidə τ_{xy}^∞ eninə yerdəyişmə mövcuddur. τ_{xy}^∞ ardıqca dəşiklərin səthində dağılmadan əvvəlki zonalər yaranmağa başlayır, hansılar ki, materialın hissəciklərarası rabitəsi zəifləmiş oblastları kimi modelləşdirilir. Bu oblastların sahillərinin qarşılıqlı təsiri həmin sahillər arasında verilmiş deformasiya diaqramlı rabitələrin daxil edilməsi yolu ilə modelləşdirilir. Sərhəd şərtləri və materialın tutduğu D oblastının həndəsi ölçüləri simmetrik olduğuna görə, gərginliklər əsas periodu ω olan periodik funksiyalardır.

Məsələnin sərhəd şərtləri aşağıdakı şəkildədir:

$$\sigma_r - i\tau_{r\theta} = 0 \text{ dairəvi dəşiklərin konturlarında,} \quad (12)$$

dağılmadan əvvəlki zonaların sahillərində

$$\sigma_y - i\tau_{xy} = -iq_x(x) \text{ absis oxuna kollinear} \quad (13)$$

$$\sigma_x - i\tau_{xy} = -iq_y(y) \text{ ordinat oxuna kollinear.}$$

Qoyulmuş məsələnin əsas münasibətləri dağılmadan əvvəlki zonanın sahillərinin yerdəyişməsini və rabitə qüvvələrini əlaqələndirən münasibətlərlə tamamlanır.

$$u^+(x, 0) - u^-(x, 0) = C(x, q_x(x))q_x(x), \quad (14)$$

$$v^+(0, y) - v^-(0, y) = C(y, q_y(y))q_y(y),$$

burada $C(x, q_x(x))$ və $C(y, q_y(y))$ funksiyaları rabitələrin effektiv uyğunluğu; $(u^+ - u^-)$ – absis oxuna kollinear olan dağılmadan əvvəlki zonaların sahillərinin yerdəyişməsi; $(v^+ - v^-)$ – ordinat oxuna kollinear olan dağılmadan əvvəlki zonaların sahillərinin yerdəyişməsidir.

Eninə yerdəyişmə zamanı dağılmadan əvvəlki zonalı dəşikli cismin müvazinəti haqqında məsələnin həlli iki sonsuz cəbri tənliklər sisteminin və Koşi tipli nüvəyə malik olan iki qeyri-xətti sinqulyar inteqral tənliyin həllinə gətirilir. Bu tənliklərin həllindən çatlardan əmələ gəlmiş zonalardakı qüvvələr tapılır. Çatın əmələ gəlməsi materialın rabitələrinin həddi yerdəyişmə meyarı nəzərə alınmaqla formaləşdirilir. Alınmış münasibətlər eninə yerdəyişmə zamanı periodik dairəvi dəşiklər sistemi ilə zəiflədilmiş izotrop cisimdə çatın əmələ gəlməsini tədqiq etməyə imkan verir.

§2.2-də çatın əmələgəlmə prosesi zonasının nəzərdən keçirilməsinə əsaslanan periodik strukturlu kompozitlərdə çatın əmələ gəlməsinin modeli təklif olunmuşdur. Hesab edilir ki, çatın əmələgəlmə prosesinin baş verdiyi zona ayrı-ayrı struktur elementləri arasında rabitələri qismən pozulmuş materialın sonlu uzunluqlu təbəqəsidir. Dağılmadan əvvəlki zonanın sahilləri arasında rabitələrin mövcud olması (materialın hissəciklərarası rabitələrinin zəiflədiyi zonalar) rabitələrin mövcudluğu səbəbindən dağılmadan əvvəlki zonanın səthinə ilişmə qüvvələrinin tətbiq olunması kimi modelləşdirilir. Eninə yerdəyişmə zamanı dağılmadan əvvəlki zonanın həddi müvazinətinin analizi aşağıdakılar da daxil olmaqla, həddi yerdəyişmə meyarı əsasında yerinə yetirilir:

1) ilişmə qüvvələrinin dağılmadan əvvəlki zonanın sahillərinin yerdəyişməsindən asılılıqlarının müəyyən olunması;

2) xarici yükləmələr və ilişmə qüvvələri, həmçinin sərt daxiletmələrin yerləşməsi də nəzərə alınmaqla dağılmadan əvvəlki zonanın yaxınlığında gərgin vəziyyətin qiymətləndirilməsi;

3) xarici kritik yükləmələrin çatın əmələ gəlməyə başladığı mühtin həndəsi və fiziki parametrlərindən asılılığının təyin olunması.

Dağılmadan əvvəlki zonanın sahillərini birləşdirən rabitələrdə cismin əsas hissəsinə xarici yüklərin təsiri zamanı müvafiq olaraq $q_x(x)$ və $q_y(y)$ toxunan qüvvələri yaranır. Bu gərginliklər əvvəlcədən məlum deyil və dairəvi dəşiklərin çevrəsi boyunca elastik yerdəyişmələrin olmadığını və dağılmadan əvvəlki zonaların aşağıdakı şərtlərinə uyğunluğunu ifadə edən sərhəd şərtləri üzrə dağılma mexanikasının kənar məsələsinin həllindən təyin olunmalıdır.

$$u + iv = 0 \quad \text{dairəvi dəşiklərin konturlarında} \quad (15)$$

dağılmadan əvvəlki zonaların sahillərində

$$\sigma_y - i\tau_{xy} = -iq_x(x) \quad \text{absis oxuna kollinear olan} \quad (16)$$

$$\sigma_x - i\tau_{xy} = -iq_y(y) \quad \text{ordinat oxuna kollinear olan}$$

Qoyumuş məsələnin əsas münasibətləri dağılmadan əvvəlki zonaların sahillərinin yerdəyişməsi ilə rabitələrdəki toxunan qüvvələri əlaqələndirən (14) münasibətləri ilə tamamlanır.

Məsələnin təbii şəkildə həll olunması üçün periodik elastik məsələnin həlli zamanı inkişaf etdirilmiş metod ilə dağılmadan əvvəlki zonalar boyunca naməlum toxunan yerdəyişmələrə uyğun olan aşkar

formalı Kolosov-Musxelişvili potensiallarının qurulması metodu birləşdirilir.

Periodik sərt daxiletmələr sistemli və eninə yerdəyişmə zamanı dağılmadan əvvəlki zonalarının sahilləri arasında rabitəsi olan cismin həddi müvazinət halının analizi, alınmış həlledici cəbri sistemin və materialın hissəciklərarası rabitələrinin müxtəlif deformasiya qanunları zamanı deformasiya meyarının, dayanıqlı sabitlərin və dəşikli cismin həndəsi parametrlərinin tədqiq olunmasına gətirilir. Alınmış cəbri sistemlərin həllindən bilavasitə rabitələrdəki qüvvələr və dağılmadan əvvəlki zonaların yerdəyişməsi təyin olunur. Sahilləri arasında rabitəsi olan çətin əmələ gəlməsi modeli rabitə qüvvələrinin müxtəlif deformasiya qanunları zamanı rabitələrdəki qüvvələrin paylanması əsas qanunauyğunluqlarını tədqiq etməyə, çətin əmələ gəlməsinin deformasiya şərtləri nəzərə alınmaqla dağılmadan əvvəlki zonalı mühitin həddi müvazinət halını analiz etməyə, kritik xarici yükləməni və materialın çətinə dayanıqlığını qiymətləndirməyə imkan verir.

İkinci fəslin üçüncü paraqrafında eyni istiqamətli liflərlə möhkəmləndirilmiş kompozitin liflərində yerdəyişən çətin əmələ gəlməsinin modelləşdirilməsi aparılmışdır. Periodik dairəvi dəşiklər sistemi ilə zəiflədilmiş izotrop mühit nəzərdən keçirilir. Mühitin dairəvi dəşikləri yadcişli elastik daxiletmələrlə (liflərlə) doldurulmuş və onlar çevrəsi boyunca lehimlənmişdir. Mürəkkəb cisim eninə yerdəyişməyə məruz qalır. Baxılan halda, kompozitin lifində çətin əmələ gəlməsinin riyazi təsvir olunması məqsədi ilə lifdə materialın hissəciklərarası rabitəsi zəifləmiş zonası mövcud olduğu halda kompozit üçün naməlum sərhədli materialların mexanikası məsələsinə gəlirik.

Nəhayət, ikinci fəslin sonuncu paraqrafında eninə yerdəyişmə zamanı eyni istiqamətli liflərlə möhkəmləndirilmiş kompozitlərdə çətin əmələ gəlməsi tədqiq olunmuşdur.

Xətti möhkəmləndirilmiş materialların mikrostrukturunda gərginliklərin xarakterik paylanması barədə dolğun təsəvvürü liflərin istiqamətinə perpendikulyar olan müstəvidə yerdəyişmə zamanı gərginlikləri tədqiq edərək əldə etmək olar. Bu məsələnin həlli, kompozit materialların təşkil olunduğu komponentlərin verilmiş başlanğıc xarakteristikalarına və mikrostrukturuna görə kompozit materialların mexaniki xassələrinin proqnozlaşdırılması üçün yeni imkanlar açır.

Tutaq ki, λ ($\lambda < 1$) radiuslu periodik dairəvi deşiklər sistemi ilə zəiflədilmiş elastik müstəvi verilmişdir və bu deşiklərin mərkəzləri $P_m = m\omega$ ($m=0, \pm 1, \pm 2, \dots$), $\omega = 2$ nöqtələrində yerləşir. Müstəvinin dairəvi deşikləri (əlaqələndiricilər) bircins elastik materialdan hazırlanmış həlqələrlə doldurulmuşdur və onların səthləri bircins silindrik plyonka ilə bərabər (müntəzəm) örtülmüşdür. Mürəkkəb cismə $\sigma_x = 0$, $\sigma_y = 0$, $\tau_{xy} = \tau_{xy}^\infty$ gərginlikləri (sonsuzluqda yerdəyişmə) təsir göstərir.

Mürəkkəb cismə xarici yükləmələrin təsiri zamanı dağılmadan əvvəlki zonaların sahillərini birləşdirən rabitələrdə müvafiq olaraq, $q_x(x)$ və $q_y(y)$ toxunan qüvvələri yaranacaq. Bu gərginliklər qabaqcadan məlum deyil və təyin olunmalıdırlar.

Mürəkkəb hissəli-bircins mühitin gərgin-deformasiya vəziyyəti haqqında məsələ, mühitin tutduğu oblastların hər birində elastik mühitlərin sərhədlərində verilmiş şərtlərə görə iki $\Phi(z)$ və $\Psi(z)$ funksiyasının qurulmasına gətirilir.

Nəzərdən keçirilən məsələdə sərhəd şərtləri aşağıdakı şəkildədir:

$$\begin{aligned} (\sigma_r - i\tau_{r\theta})_{b|\omega_m} &= (\sigma_r - i\tau_{r\theta})_{t|\omega_m}, \\ (u + iv)_{b|\omega_m} &= (u + iv)_{t|\omega_m}, \\ (\sigma_r - i\tau_{r\theta})_{t|\Omega_m} &= (\sigma_r - i\tau_{r\theta})_{s|\Omega_m}, \\ (u + iv)_{t|\Omega_m} &= (u + iv)_{s|\Omega_m}, \end{aligned} \quad (17)$$

dağılmadan əvvəlki zonaların sahillərində

$$\begin{aligned} (\sigma_y - i\tau_{xy})_s &= f_x(x) \text{ absis oxuna kollinear olan,} \\ (\sigma_x - i\tau_{xy})_s &= f_y(x) \text{ ordinat oxuna kollinear olan.} \end{aligned} \quad (18)$$

burada ω_m – plyonka-həlqə ayrılma sərhədi; Ω_m – m nömrəli deçikdə plyonka-müstəvi ayrılma sərhədi; örtüyə, həlqəyə və müstəviyə aid olan kəmiyyətlər bundan sonra müvafiq olaraq t , b və s indeksləri ilə işarələənəcək; $f_x(x) = -iq_x(x)$ absis oxuna kollinear olan dağılmadan əvvəlki zonaların sahillərində; $f_y(y) = -iq_y(y)$ ordinat oxuna kollinear olan dağılmadan əvvəlki zonaların sahillərində.

Qoyulmuş məsələnin əsas münasibətləri absis oxuna kollinear olan uc zonalardakı sahillər arasındakı rabitələrlə tamamlanır. Uc zonalardan kənarında çətin sahilləri xarici yükləmələrdən azaddır. Mühitdə $\tau_y = \tau_y^\infty$, $\tau_x = 0$ əks-müstəvi deformasiyası (sonsuzluqda eninə yerdəyişmə) mövcuddur. Qəbul olunmuşdur ki, dağılma prosesinin zonası çətin bir hissəsi kimi nəzərdən keçirilən, ayrı-ayrı struktur elementləri arasında rabitələri qismən pozulmuş (uc zona) materialdan ibarət olan sonlu uzunluğa malik təbəqədir. Uc zonada çətin sahilləri arasında rabitənin mövcud olması, rabitələrin mövcudluğunun səbəb olduğu çətin səthlərinə ilişmə qüvvələrinin tətbiq olunması ilə modelləşdirilir. Uc zona modeli çərçivəsində kompozitdə çətin həddi müvazinətinin analizi aşağıdakılar da daxil olmaqla, çətin uc zonasının kənarının irəliləməsi üçün kinematik şərt əsasında yerinə yetirilir:

1) ilişmə qüvvələrinin çətin sahillərinin yerdəyişməsindən asılılığının müəyyənləşdirilməsi;

2) xarici yükləmələr, ilişmə qüvvələri və sərt daxiletmələrin qarşılıqlı yerdəyişməsi nəzərə alınmaqla, çətin yaxınlığında gərgin vəziyyətin qiymətləndirilməsi;

3) kritik xarici yükləmələrin çətin uzunluğundan asılılığının müəyyən olunması (dağılma diaqramı).

Koheziyalı çat modeli müxtəlif deformasiya qanunları zamanı rabitələrdəki qüvvələrin əsas paylanma qanunauyğunluqlarını tədqiq etməyə, dağılmanın deformasiya şərti nəzərə alınmaqla mürəkkəb cismin həddi müvazinətini analiz etməyə, materialın kritik xarici yüklənməsini və çata davamlılığını qiymətləndirməyə imkan verir.

Üçüncü fəsil. Dissertasiyanın üçüncü fəslə periodik dairəvi dəşiklər sistemi ilə zəiflədilmiş cisimdə koheziyalı çatların inkişafının modelləşdirilməsinə həsr olunmuşdur.

Bu fəslin birinci paragrafında periodik dairəvi dəşiklər sistemi ilə və uc zonalardakı sahilləri arasında rabitəsi olan düzxətli çatlarla zəiflədilmiş izotrop cismin eninə yerdəyişməsi barədə dağılmanın qeyri-xətti maxanikası məsələsi həll edilmişdir. Dəşiklərin konturlarından absis və ordinat oxlarına kollinear istiqamətlənmiş simmetrik düzxətli koheziyalı çatlar çıxır. Qəbul olunmuşdur ki, dairəvi dəşiklərin konturları və uc zonalardan kənarında çətin sahilləri xarici yükləmədən azaddır. Xarici yükləmə artıqca düzxətli çatların davamında

dağılmadan əvvəlki zonalar (uc zonalar) yaranmağa başlayacaq, harada ki, mühitin materialı elastiklik həddindən kənar da deformasiya olunur. Bu halda, uc zonasındakı sahilləri arasında rabitəsi olan çat modelindən istifadə olunur.

Eninə yerdəyişməli koheziyalı çatlari olan periodik dairəvi deşiklər sistemi ilə zəiflədilmiş mühitin həddi-gərgin vəziyyətinin tədqiqi üçün qeyri-xətti dağılma mexanikasının kənar məsələsi həll edilmişdir. Kənar məsələnin həlli prosesində çatın uc zonalarının rabitələrindəki toxunan gərginliklər, çatların qarşı sahillərinin yerdəyişməsi, materialın hissəciklərarası rabitələrinin zəiflədiyi zonalarının (dağılmadan əvvəlki zonalar) naməlum ölçüləri təyin olunmuşdur. Deşiklərin konturlarında və uc zonalı çatların sahillərində kənar şərtləri ödəməklə, rabitələrdəki toxunan gərginliklərin həllərinin ümumi təsviri əmsallarının təyin olunması üçün qeyri-xətti cəbri tənliklər sistemi alınmışdır. Çatların uc zonalarının uzunluqlarının və koheziyalı sahillərinin yerdəyişmələrinin xarici yükləmənin qiymətindən və cismin həndəsi və mexaniki parametrlərindən asılılıqları tapılmışdır. Çatın kritik açılış meyarına (KAM) analoji olaraq, çatın inkişaf meyarı qismində, hesab edirik ki, koheziyalı çatın inkişafı o zaman baş verəcək ki, dağılmadan əvvəlki zonanın təməli yaxınlığında çatın qarşı səthlərinin yerdəyişməsi verilmiş material üçün kritik həddə çatmış olsun, hansı ki, təcrübi yolla təyin olunur.

Üçüncü fəslin ikinci paragrafında, çatın zirvəsi yaxınlığında dağılma prosesi zonasının nəzərdən keçirilməsinə əsaslanan, periodik strukturlu kompozit materialların dağılma modeli təklif edilmişdir. Mütləq sərt daxiletmələrlə doldurulmuş, çevrəsi boyunca lehirlənmiş periodik dairəvi deşiklər sistemli izotrop mühit üçün və mütləq sərt daxiletmələrlə doldurulmuş, çevrəsi boyunca lehirlənmiş düzxətli dağılma çatlari ilə zəiflədilmiş periodik dairəvi deşiklər sistemli və eninə yerdəyişmə zamanı absis və ordinat oxlarına kollinear olan müxtəlif uzunluqlu, uc zonalarındakı sahilləri arasında rabitələri olan düzxətli çatlarla zəiflədilmiş izotrop mühit üçün dağılma mexanikasının müstəvi məsələsi nəzərdən keçirilir. Koheziyalı çatlari olan mürəkkəb izotrop mühitin müvazinəti haqqında məsələ Koşi nüvəli qeyri-xətti sinqulyar inteqrodifferensial tənliklərin həllinə gətirilir. Bu tənliklər sisteminin həllindən çatların uc zonalarındakı toxunan gərginliklər tapılır.

Çatın inkişaf etməsi şərti materialın rabitələrinin həddi yerdəyişmə meyarı nəzərə alınmaqla formalaşdırılır.

Ədədi hesablamalar nəticəsində τ_{xy}^{∞} yükləmə parametrindən asılı olaraq uc zonanın uzunluğu, rabitələrdəki qüvvələr və dağılmadan əvvəlki zonanın qarşı sahillərinin yerdəyişməsi tapılmışdır.

Hesablamalar göstərir ki, rabitələrin deformasiyası xətti qanun üzrə baş verdiyi hallarda rabitələrdəki qüvvələr uc zonanın kənarında həmişə maksimum qiymətini alır. Çatın yerdəyişmə kəmiyyəti üçün də analogi mənzərə müşahidə olunur. Yəni xətti və qeyri-xətti deformasiya qanunları zamanı uc zonanın kənarında çatın yerdəyişməsi maksimum olur, həm də rabitələrin nisbi uyğunluqları artdıqca çatın yerdəyişməsi böyüyür.

Üçüncü fəslin üçüncü paragrafı eninə yerdəyişmə zamanı periodik dairəvi dəşiklər sistemi ilə zəiflədilmiş cismin dağılmasının tədqiqinə həsr olunmuşdur. Periodik dairəvi dəşiklər sisteminin qarşılıqlı təsiri və eninə yerdəyişmə zamanı absis və ordinat oxlarına kol-linear istiqamətlənmiş, dairəvi dəşiklərin səthindən çıxan uc zonalı düzxətli çatlar haqqında qeyri-xətti dağılma mexanikası məsələsi həll edilmişdir. Dairəvi dəşiklərdən kənarada gərginliklərin periodik paylanmalı məsələləri sinfini və dağılmadan əvvəlki zonalı düzxətli çatları təsvir edən həllərin ümumi təsvirləri qurulmuşdur. Dəşiklərin konturlarındakı və uc zonalarında sahilləri arasında rabitəsi olan çatların sahillərindəki kənar şərtləri ödəməklə, məsələ axtarılan əmsallara nəzərən iki sonsuz cəbri sistemə və iki inteqral tənliklər sisteminə gətirilmişdir. Sonra, kvadrat düsturların köməyi ilə hər bir sinqulyar inteqral tənlik sonlu cəbri tənliklər sisteminə gətirilir. Uc zonalarda çatın sahilləri arasındakı rabitələrdə toxunan gərginliklərin hesablanması proseduru verilir. Baxılan halda koheziyalı çatların böyüməsi dağılmadan əvvəlki oblastın çatın sahilləri arasında rabitələri qırılmış oblasta keçməsi prosesini təsvir edir.

Çatın inkişaf etməsi şərti materialın rabitələrinin həddi yerdəyişmə meyarı nəzərə alınmaqla formalaşdırılır. Alınmış münasibətlər xarici yükləmənin kritik qiymətini, uc zonaların ölçülərini və dəşikli cisimdə çatın böyüməsinin baş verdiyi zaman həddi müvazinət halında rabitələrdəki qüvvələri təyin etməyə imkan verir.

Nəhayət, üçüncü fəslin sonuncu paragrafında eninə yerdəyişmə zamanı izotrop mühidə periodik sərt daxiletmələr sisteminin və

düzxətli koheziyalı çatlarm qarşılıqlı təsiri tədqiq edilmişdir. Dağılmadan əvvəlki zonaların sahillərinin yerdəyişməsini və rabitələrdəki qüvvələri əlaqələndirən (14) münasibətlərinin qeyri-xətti mexanikasının müstəvi məsələsi həll edilmişdir.

Dairəvi dəşiklərin konturlarından kənarında gərginliklərin periodik paylanması sinifi məsələlərini təsvir edən ümumi təsəvvürlər qurulmuşdur.

Hissəli-bircins mühitin gərgin-deformasiya vəziyyəti haqqında məsələ, mühitin tutduğu oblastların hər birində elastik mühitlərin sərhədində verilmiş şərtlərə görə iki $\Phi(z)$ və $\Psi(z)$ analitik funksiyanın qurulmasına gətirilir.

Dördüncü fəsil. Dissertasiyanın bu fəslı yadciisli elastik daxil-ctmələr və eninə yerdəyişmə zamanı koheziyalı çatlar sisteminin qarşılıqlı təsirinin tədqiq olunmasına həsr edilmişdir.

Bu fəslin birinci paraqrafında absis və ordinat oxlarına kollinear istiqamətlənmiş, eyni uzunluqda olmayan iki periodik düzxətli koheziyalı çatlar sistemi ilə zəiflədilmiş izotrop elastik hissəli-bircins mühitin uzununa yerdəyişməsi haqqında məsələ həll edilmişdir. Müstəvinin dairəvi dəşikləri digər elastik bircins materialdan hazırlanmış liflərlə (həlqələrlə) doldurulmuşdur, həm də onların səthi bircins silindrik plyonka ilə bərabər örtülmüşdür. Yerdəyişmə çatının sahilləri xarici yükləmədən azaddır, kompozitə isə $\tau_y = \tau_y^\infty$, $\tau_x = 0$ gərginlikləri təsir göstərir (sonsuzluqda uzununa yerdəyişmə).

Yerdəyişmə çatının zirvəsi yaxınlığında dağılma prosesi zonasının tədqiqinə əsaslanan kompozit materialların dağılma modeli təklif olunmuşdur. Hesab edilir ki, dağılma prosesinin zonası, materialın ayrı-ayrı struktur elementləri arasında (uc zona) rabitələri qismən pozulmuş materialdan ibarət olan sonlu uzunluqlu təbəqədir. Uc zona (dağılmadan əvvəlki zona) çatın hissəsi kimi nəzərdən keçirilir. Uc zonada çatın sahilləri arasında rabitələrin mövcud olması rabitələrin iştirakının səbəb olduğu ilişmə qüvvələrinin çatın səthinə tətbiq olunması ilə modelləşdirilir. Kompozitdə həddi müvazinətin analizi aşağıdakılar da daxil olmaqla, çatın zirvəsinin irəliləməsinin qüvvə meyarı və çatın uc zonasının kənarının irəliləməsinin təyin olunması üçün deformasiya şərti əsasında yerinə yetirilir:

1) ilişmə qüvvələrinin çatın yerdəyişməsindən asılılığının təyin olunması;

2) xarici yükləmələr, ilişmə qüvvələri və yadincisli elastik liflərin qarşılıqlı yerləşməsi nəzərə alınmaqla yerdəyişmə çatının yaxınlığında gərgin vəziyyətin qiymətləndirilməsi;

3) kritik xarici yükləmələrin çatın uzunluğundan asılılığının müəyyənləşdirilməsi.

Çatların və uc zonaların verilmiş ölçüləri üçün K_{IIc} və δ_{cr} həddi qiymətlərindən istifadə etməklə, monoton yüklənmə zamanı çatların müvazinət və inkişaf rejimlərini ayırmaq olar. Əgər

$$K_{III} \geq K_{IIIc}, \quad V(x_*) \text{ və } V(y_*) < \delta_{IIIc}$$

şərtləri ödənilirsə, onda rabitələri qırılmayan uc zonanın uzunluğunun artması ilə eyni zamanda, çatın zirvəsinin irəliləməsi baş verir. Çatın inkişafının bu mərhələsini xarici yükləmələrin verilmiş səviyyəyə uyğunlaşması prosesi kimi nəzərdən keçirmək olar.

Aşağıdakı şərt ödənildiyi zaman uc zonanın kənarında rabitələrin pozulması ilə eyni zamanda, çatın zirvəsinin böyüməsi baş verəcəkdir.

$$K_{III} \geq K_{IIIc}, \quad V(x_* \text{ və ya } y_*) \geq \delta_{IIIc}$$

Belə ki, məsələn,

$$K_{III} < K_{IIIc}, \quad V(x_* \text{ və ya } y_*) \geq \delta_{IIIc}$$

şərtləri ödənildiyi zaman çatın zirvəsi irəliləmədən rabitələrin pozulması baş verir və verilmiş yükləmə səviyyəsi üçün kritik qiymətinə yönələrək uc zonanın ölçüsü kiçilir. Aşağıdakı şərtlər ödənildiyi zaman çatın zirvəsinin və uc zonanın vəziyyəti dəyişmir

$$K_{II} < K_{IIc}, \quad V(x_* \text{ və } y_*) < \delta_{IIc}.$$

Beləliklə, analiz göstərir ki, τ_{xy}^∞ xarici yükləməsinin qiyməti və K_{IIIc} , δ_{IIIc} kritik parametrləri dağılmanın xarakterini müəyyən edir:

1. uc zona irəlilədikcə çatın zirvəsi böyüyür;
2. çatın zirvəsi böyümədən uc zonanın ölçüsü kiçilir;
3. uc zonanın kənarında rabitələrin pozulması ilə eyni zamanda, çatın zirvəsi böyüyür.

Dördüncü fəslin ikinci paragrafında uc zonalarındakı sahilləri arasında rabitəli çatlarla zəiflədilmiş elastik hissəli-bircins cismnin uzununa yerdəyişməsi haqqında dağılmanın qeyri-xətti mexanika məsələsi həll edilmişdir. Hesab edilir ki, əlaqələndiricinin dairəvi dəşikləri yadincisli materialdan hazırlanmış elastik həlqələrlə doldurulmuş və

çevrəsi boyunca lehimlənmişdir, hansıların ki, səthi silindrik bir cins plyonka ilə bərabər örtülmüşdür. Əlaqələndiricidə və uc zonalarından kənardakı daxiletmələrdə çatın sahilləri xarici yükləmədən azaddır. Sonsuz cəbri sistem və üç qeyri-xətti sinqulyar inteqrodifferensial tənliklər şəklində əsas həlledici tənliklər alınmışdır.

Bu fəslin üçüncü paraqrafında uzununa yerdəyişmə zamanı ortotrop elastik daxiletmələrin və izotrop mühidə iki düzxətli koheziyalı çatlar sisteminin qarşılıqlı təsiri tədqiq olunmuşdur. Səthləri silindrik plyonka ilə bərabər örtülmüş ortotrop daxiletmələrin və izotrop mühidə absis və ordinat oxlarına kollinear olan uc zonalarındakı sahilləri arasında rabitəli düzxətli çatların qarşılıqlı təsiri haqqında dağılmanın qeyri-xətti mexanika məsələsi həll edilmişdir. Deşiklərdən və yerdəyişmə çatından kənar gərginliklərin periodik paylanması sinifi məsələlərini təsvir edən həllərin ümumi təsəvvirləri qurulmuşdur. Əsas həlledici tənliklər kənar şərtləri ödəməklə alınmışdır. Çatın uc zonalarının sahilləri arasındakı rabitələrin toxunan gərginliklərinin tapılması proseduru verilmişdir.

Bəşinci fəsil. Dissertasiyanın bu fəslində eninə yerdəyişmə zamanı yad cinsli elastik daxiletmələrin periodik sistemi ilə düzxətli koheziyalı çatların qarşılıqlı təsiri haqqında məsələnin modelləşdirilməsinə və həllinə həsr olunmuşdur.

Bu fəslin birinci paraqrafında uc zonalarındakı sahilləri arasında rabitəsi olan düzxətli çatlarla zəiflədilmiş periodik elastik daxiletmələr sisteminin qarşılıqlı təsiri haqqında qeyri-xətti dağılma mexanikasının müstəvi məsələsi həll edilmişdir.

Əlaqələndiricinin dairəvi deşiklərinə digər elastik materialdan hazırlanmış elastik həlqələr lehimlənmişdir. Hesab edilir ki, həlqələr sahilləri arasında rabitəsi olan uc zonalı düzxətli çatlarla zəiflədilmişdir. Uc zonalarından kənar çatın sahilləri xarici yükləmələrdən azaddır. Mürəkkəb cismə $\sigma_x = 0$, $\sigma_y = 0$, $\tau_{xy} = \tau_{xy}^\infty$ gərginlikləri təsir göstərir (sonsuzluqda eninə yerdəyişmə).

Uc zonaların sahillərinin qarşılıqlı təsiri dağılmadan əvvəlki zonanın sahilləri arasında verilmiş deformasiya diaqramına malik olan rabitələrin daxil edilməsi yolu ilə modelləşdirilir. Belə rabitələrin fiziki təbiəti və dağılmadan əvvəlki zonaların ölçüləri materialın növündən asılıdır. Mürəkkəb cismə xarici yükləmələrin təsiri zamanı daxiletmələrin kənar çatlarını birləşdirən rabitələrdə $q_x(x)$ toxunan

gərginlikləri yaranacaq. Bu gərginliklər qabaqcadan məlum deyil və dağılma mexanikası məsələsinin həlli prosesində təyin olunmalıdır.

Müstəvinin deformasiyası zamanı daxiletmələrin və müstəvinin qarışıq nöqtələri eyni yerdəyişməyə məruz qalacaq, istənilən həlqəyə müstəvi tərəfdən təsir edən qüvvələr isə kəmiyyətə bərabər və daxil etmələr tərəfindən müstəviyə təsir edən qüvvələrlə əks-ışarəli olacaq.

Müstəvi üçün məsələnin həlli periodik xassəli olduğuna görə, müstəvinin daxil etmə ilə uyğunluğu şərtinin yalnız, əsas dəyişin L_0 konturu boyunca nəzərdən keçirilməsi kifayətdir.

Qoyulmuş məsələnin sərhəd şərtləri aşağıdakı şəkildədir:

$$(\sigma_r - i\tau_{r\theta})_b = (\sigma_r - i\tau_{r\theta})_s \quad L_0\text{-da} \quad (19)$$

$$(u + iv)_b = (u + iv)_s \quad L_0\text{-da}$$

$$\sigma_y - i\tau_{xy} = 0 \quad \text{\u00e7atın s\u00e9rb\u00e9st sahill\u00e9rind\u00e9}$$

$$\sigma_x - i\tau_{xy} = -iq_x(x) \quad \text{\u00e7atın uc zonalar\u00fnn sahill\u00e9rind\u00e9.}$$

Qoyulmuş məsələnin əsas m\u00fasib\u00e9tl\u00e9ri \u00e7at\u00fnn uc zonas\u00fnn sahill\u00e9r\u00fnnin yerd\u00e9yi\u00e9m\u00e9si il\u00e9 rabit\u00e9l\u00e9rd\u00e9ki toxunan g\u00e9rginlik\u00e9ri \u00e9laq\u00e9l\u00e9ndir\u00e9n m\u00fasib\u00e9tl\u00e9rl\u00e9 tamamlan\u00fbr.

$$u^+(x, 0) - u^-(x, 0) = C(x, q_x(x))q_x(x), \quad (20)$$

\u00c7at\u00fnn b\u00f6y\u00fcm\u00e9sinin ba\u00e9 verdiyi uc zonal\u00f1 \u00e7atlar\u00fnn h\u00e9ddi m\u00fasiz\u00e9n\u00e9tini tapmaq \u00fc\u00e7\u00fcn \u00e7at\u00fnn sahill\u00e9r\u00fnnin kritik yerd\u00e9yi\u00e9m\u00e9si \u00e9rtind\u00e9n (dağılman\u00f1n deformasiya meyar\u00f1) istifad\u00e9 olunur.

\u00c7at\u00fnn b\u00f6y\u00fcm\u00e9si ba\u00e9 verdiyi zaman uc zonal\u00f1 \u00e7atlar\u00fnn h\u00e9ddi m\u00fasiz\u00e9n\u00e9t v\u00e9ziyy\u00e9tinin tapılması \u00fc\u00e7\u00fcn \u00e7at\u00fnn sahill\u00e9r\u00fnnin kritik yerd\u00e9yi\u00e9m\u00e9si (dağılman\u00f1n deformasiya meyar\u00f1) \u00e9rtind\u00e9n istifad\u00e9 olunur. T\u00e9siri zaman\u00f1 \u00e7at\u00fnn b\u00f6y\u00fcm\u00e9sinin ba\u00e9 verdiyi τ_{xy}^∞ h\u00e9ddi xarici y\u00fckl\u00e9m\u00e9ni t\u00e9yin ed\u00e9n \u00e9rt alınm\u00f1\u00e9dır.

Bu f\u00e9slin ikinci paraqrafında, \u00e9laq\u00e9l\u00e9ndiricinin v\u00e9 daxil etməl\u00e9rin koheziviyal\u00f1 \u00e7atlar t\u00e9r\u00e9find\u00e9n z\u00e9ifl\u00e9dildiyyi halda, hiss\u00e9li-bircins m\u00fahi-tin enin\u00e9 yerd\u00e9yi\u00e9m\u00e9si haqqında dağılma mexanikas\u00fnn qeyri-x\u00e9tti m\u00e9s\u00e9l\u00e9sinin h\u00e9lli verilmi\u00e9dir. Hesab edilir ki, dig\u00e9r materialdan haz\u00fbrlanm\u00f1\u00e9 elastik h\u00e9lq\u00e9l\u00e9r dair\u00e9vi d\u00e9\u00e9ikl\u00e9r\u00e9 m\u00fcdaxil\u00e9 olmadan lehiml\u00e9nm\u00f1\u00e9dir.

Hesab edilir ki, elastik daxil etməl\u00e9r v\u00e9 m\u00fas\u00e9vi uc zonalar\u00fnn sahill\u00e9ri aras\u00fnda rabit\u00e9si olan d\u00fczx\u00e9tli \u00e7atlarla z\u00e9ifl\u00e9dilm\u00f1\u00e9dir,

habelə müstəvi və daxiletmədə uc zonalı çatların uzunluqları eyni deyildir. Uc zonadan kənarında çatın sahilləri xarici yükləmələrdən azaddır, deşikli cismə isə $\tau_{xy} = \tau_{xy}^\infty$, $\sigma_x = 0$, $\sigma_y = 0$ gərginlikləri (sonsuzluqda yerdəyişmə) təsir göstərir.

Çatların uc oblastlarının modelləşdirilməsi onların çatın hissəsi kimi nəzərdən keçirilməsindən və uc zonalarda çatların səthinə onların yerdəyişməsinə mane olan ilişmə qüvvələrinin aşkar tətbiq olunmasından ibarətdir. Hesab edilir ki, çatların uc zonalarının ölçüləri çatların uzunluqları ilə mütənasibdir. Çatların uc zonalarının sahillərinin qarşılıqlı təsirləri dağılmadan əvvəlki zonanın sahilləri arasında məlum deformasiya diaqramlı rabitələrin daxil edilməsi yolu ilə modelləşdirilir. Belə rabitələrin fiziki təbiəti və dağılmadan əvvəlki zonaların ölçüləri materialın növündən asılıdır. Hissəli-bircins cismə xarici yükləmənin təsiri zamanı dağılmadan əvvəlki uc zonaların sahillərini birləşdirən rabitələrdə müvafiq olaraq $q_x(x)$,

$q_y(y)$, daxiletmələrdə isə $q_x^0(x)$ müstəvi toxunan qüvvələri yaranır.

Bu gərginliklər qabaqcadan məlum deyil və dağılma mexanikasının kənar məsələsinin həlli prosesində təyin olunmalıdır.

Nəzərdən keçirilən məsələdə sərhəd şərtləri aşağıdakı kmdir:

$$(\sigma_r - i\tau_{r\theta})_{b|\Omega_m} = (\sigma_r - i\tau_{r\theta})_{s|\Omega_m}, \quad (21)$$

$$(u + i\nu)_{b|\Omega_m} = (u + i\nu)_{s|\Omega_m}$$

uc zonalı çatların sahillərində

$$(\sigma_y - i\tau_{xy})_s = f_x(x) \text{ absis oxuna kollinear olan,} \quad (22)$$

$$(\sigma_x - i\tau_{xy})_s = f_y(y) \text{ ordinat oxuna kollinear olan}$$

$$(\sigma_x - i\tau_{xy})_b = f_x^0(x) \text{ } y = 0, \quad |x| \leq \ell \text{ olduqda.}$$

Burada $\Omega_m - m$ nömrəli deşikdə daxiletmə-müstəvi ayrılma sərhədi; daxiletməyə (həlqəyə) və müstəviyə aid olan kəmiyyətlər bundan sonra b və s indeksləri ilə işarələnəcək; çatın sərbəst sahillərində $f_x(x) = 0$; absis oxuna kollinear olan çatların uc zonalarının sahillərində $f_x(x) = -iq_x(x)$; ordinat oxuna kollinear olan çatların sərbəst sahillərində $f_y(y)$; ordinat oxuna kollinear olan çatların uc zonalarının sahillə-

rində $f_y(y) = -iq_y(y)$; daxiletmədəki çatın sərbəst sahillərində $f_x^0(x) = 0$; daxiletmədəki çatların uc zonalarının sahillərində $f_x^0(x) = -iq_x^0(x)$.

Qoyulmuş məsələnin əsas münasibətlərini çatların uc zonalarının sahillərinin yerdəyişməsi ilə rabitələrdəki toxunan gərginlikləri əlaqələndirən tənliklərlə tamamlamaq lazımdır.

Ümumiliyi itirməməklə bu tənlikləri aşağıdakı kimi təqdim edirik

$$u_s^+(x, 0) - u_s^-(x, 0) = C(x, q_x(x))q_x(x), \quad (23)$$

absis oxuna kollinear olan çatların uc zonaları üçün

$$u_s^+(0, y) - u_s^-(0, y) = C(y, q_y(y))q_y(y)$$

ordinat oxuna kollinear olan çatların uc zonaları üçün

$$u_b^+(x, 0) - u_b^-(x, 0) = C_0(x, q_x^0(x))q_x^0(x),$$

daxiletmədəki çatların uc zonaları üçün.

Burada $C(x, q_x(x))$, $C(y, q_y(y))$ və $C_0(x, q_x^0(x))$ funksiyaları rabitələrin effektiv uyğunluğu; $(u_s^+ - u_s^-)$ – absis oxuna kollinear olan çatların sahillərinin yerdəyişməsi; $(u_s^+ - u_s^-)$ – ordinat oxuna kollinear olan çatların sahillərinin yerdəyişməsi; $(u_b^+ - u_b^-)$ – daxiletmələrdəki çatların sahillərinin yerdəyişməsidir.

Baxılan məsələ, həllərin ümumi təsəvvürləri əsasında mühit və həlqələrin tutduğu analitik oblastlardakı $z = x + iy$ kompleks dəyişəninin iki cüt $\Phi(z)$, $\Psi(z)$ və $\Phi_0(z)$, $\Psi_0(z)$ funksiyalarının axtarılmasına gətirilir.

Nəhayət, bu fəslin son paraqrafında, səthi bircins silindrik plyonka ilə bərabər örtülmüş yadəcinsli elastik daxiletmələrin periodik sisteminin və eninə yerdəyişmə zamanı dağılmadan əvvəlki uc zonalı iki düzxətli çatlar sisteminin qarşılıqlı təsiri haqqında məsələnin həlli verilir.

Qoyulmuş məsələnin həlli metodu təklif edilir.

Çatın böyüməsi baş verdiyi zaman həddi vəziyyətin təyin olunması üçün çatın sahillərinin kritik yerdəyişməsi şərtindən istifadə edilir. Alınmış həlldən istifadə edilərkən, xarici həddi yükləməni təyin edən şərtlər aşağıdakılardır:

$$\begin{aligned}
C(\lambda^0, q_x^0(\lambda^0))q_x^0(\lambda^0) &= \delta_c^0 \\
C(\lambda_*, q_y(\lambda_*))q_x(\lambda_*) &= \delta_c \\
C(\lambda_*^1, q_x(\lambda_*^1))q_y(\lambda_*^1) &= \delta_c,
\end{aligned} \tag{24}$$

burada δ_c^0 və δ_c – müvafiq olaraq, daxiletmənin və əlaqələndiricinin materialının çata dayanıqlılıq xarakteristikaları; λ^0 , λ_* və λ_*^1 – müvafiq olaraq, daxiletmə və əlaqələndirici üçün dağılmadan əvvəlki zonanın təməli yaxınlığındakı nöqtələrin koordinatlarıdır.

Çatın böyüməsi baş verdiyi zaman hissəli-bircins mühitin həddi müvazinət vəziyyəti birləşmiş cəbri sistemin və rabitələrin müxtəlif deformasiya qanunları zamanı çatların böyümə meyarının, materialların elastik sabitlərinin və dəşikli cismin həndəsi xarakteristikalarının parametrik tədqiqinə gətirilir.

Çatların və uc zonaların verilmiş ölçüləri üçün K_{IIc} və δ_{cr} həddi qiymətlərindən istifadə edərək, monoton yükləmə zamanı çatların müvazinət və böyümə rejimlərini ayırmaq mümkündür. Əgər aşağıdakı şərtlər ödənilərsə

$$\begin{aligned}
V(x_*) &= \sqrt{(u^+ - u^-)^2 + (v^+ - v^-)^2} = \delta_{cr} \\
K_{II} &\geq K_{IIc}, \quad V(x_*) \text{ və } V(y_*) < \delta_{cr},
\end{aligned}$$

onda rabitələr qırılmadan uc zonanın uzunluğunun artması ilə eyni zamanda, çatın zirvəsinin irəliləməsi baş verir. Çatların inkişafının bu mərhələsi verilmiş xarici yükləmələrə uyğunlaşma prosesi kimi nəzərdən keçirilə bilər.

Aşağıdakı şərtlər ödənilərsə, uc zonanın kənarındakı rabitələrin qırılması ilə eyni zamanda, çatın zirvəsinin böyüməsi baş verəcək

$$K_{II} \geq K_{IIc}, \quad V(x_* \text{ və } y_*) \geq \delta_{cr}.$$

Belə ki, məsələn,

$$K_{II} < K_{IIc}, \quad V(x_* \text{ və } y_*) \geq \delta_{cr}$$

şərtləri ödənilmədiyi zaman çatın zirvəsi irəliləmədən rabitələrin qırılması baş verir və verilmiş yükləmə səviyyəsi üçün kritik qiymətinə yönəlməklə uc zonanın ölçüləri kiçilir.

$$K_{II} < K_{IIc}, \quad V(x_* \text{ və } y_*) < \delta_{cr}$$

şərtləri ödənilmədiyi zaman çatın zirvəsinin və uc zonanın vəziyyəti dəyişməyəcək.

Beləliklə, analiz göstərir ki, dağılmanın xarakterini τ_{xy}^{∞} xarici yükləmə kəmiyyəti və K_{IIc} , δ_{cr} kritik parametrləri təyin edir:

- 1) uc zonası irəliləyən çatın zirvəsi böyüyür;
- 2) çatın zirvəsi böyümədən uc zonanın ölçüləri kiçilir;
- 3) uc zonanın kənarında rabitələrin qırılması ilə eyni zamanda, çatın zirvəsi böyüyür.

Uc zonalı çat modeli müxtəlif deformasiya qanunları zamanı rabitələrdəki qüvvələrin paylanma qanunauyğunluqlarını tədqiq etməyə, dağılmanın deformasiya və qüvvə meyarları nəzərə alınmaqla çatların həddi müvazinətini analiz etməyə, həmçinin mürəkkəb cismin (kompozitin) kritik xarici yüklənməsini və çata dayanıqlığını proqnozlaşdırmağa imkan verir.

Uc zona modeli çərçivəsində çatların həddi müvazinətinin analizi çatın zirvəsinin irəliləməsinin qüvvə şərti ilə dağılmanın qeyri-lokal meyarı və çatın uc zonasının kənarının irəliləməsinin təyini üçün deformasiya şərti əsasında yerinə yetirilir.

Əsas nəticələr

1. Periodik strukturlu kompozitlərdə çatın əmələgəlmə prosesi zonasının nəzərdən keçirilməsi əsasında çat əmələ gəlməsinin yeni riyazi modeli işlənib hazırlanmışdır. Qəbul edilmişdir ki, çatın əmələgəlmə zonası ayrı-ayrı struktur elementləri arasında rabitələri qismən pozulmuş materialdan ibarət olan sonlu uzunluğa malik təbəqədir.

2. Materialın hissəciklərarası rabitələrinin zəiflədiyi zonasının həddi müvazinətinin analizi, aşağıdakıların da daxil olduğu materialın rabitələrinin həddi yerdəyişmə meyarı əsasında yerinə yetirilir:

a) ilişmə qüvvələrinin dağılmadan əvvəlki zonaların sahillərinin yerdəyişməsindən asılılığının müəyyənləşdirilməsi;

b) xarici yükləmələr və ilişmə qüvvələri nəzərə alınmaqla dağılmadan əvvəlki zonanın yaxınlığında gərgin vəziyyətin, həmçinin daxiletmələrin (liflərin) qarşılıqlı yerləşməsinin qiymətləndirilməsi;

c) çat əmələ gəldiyi zaman kritik xarici yükləmələrin mürəkkəb mühitin həndəsi parametrlərindən asılılığının təyin olunması.

3. İşlənib hazırlanmış hesabat modeli əsasında:

a) uzununa və eninə yerdəyişmələr zamanı periodik strukturlu cisimlər üçün çatın əmələ gəlməsi tədqiq olunmuşdur;

b) periodik strukturlu cisimlərdə materialın hissəciklərarası rabitələrinin zəiflədiyi zonaların sahillərinin yerdəyişmə vektorunun tərkib hissələrinin hesablanma metodu işlənib hazırlanmışdır;

c) materialının hissəciklərarası rabitələri zəifləmiş zonalar sistemli kompozitdə gərgin-deformasiya vəziyyəti tədqiq olunmuşdur;

d) materialın hissəciklərarası rabitələrinin zəiflədiyi zonaların sahilləri arasında yaranan qüvvələrin hesablanma metodu təklif olunmuşdur.

4. Periodik strukturlu cisimlərdə çatın əmələ gəlməsi haqqında dağılma mexanikasının yeni sinif məsələsi həll edilmişdir. Çatın əmələ gəlməyə başladığı kritik xarici yükləmənin təyin olunması üçün münasibətlər alınmışdır.

5. Periodik strukturlu cisimlərdə çatın əmələ gəlməsinin mümkün olduğu kritik yüklənmə parametrlərinin hesablanma metodu işlənib hazırlanmışdır. Periodik strukturlu cisimlərdə müxtəlif yükləmələr zamanı çatın əmələ gəlməsini proqnozlaşdırmağa imkan verən yerdəyişmə çatının yaranması meyarı formalaşdırılmışdır.

6. Periodik strukturlu və müxtəlif növ yükləmələr zamanı çatlarla zəiflədilmiş deformasiya olunan bərk cisim üçün koheziyalı çat modeli əsasında dağılma mexanikasının yeni sinif məsələlərinin həlləri alınmışdır.

7. Periodik strukturlu cisimlərdə dağılmadan əvvəlki zonaların çatların yerdəyişməsinə və inkişafına təsiri tədqiq olunmuşdur. Hər bir kompozit növü üçün ədədi hesablamalar yolu ilə çatın buraxıla-bilən həddi ölçüsünü (texnoloji qüsuru) proqnozlaşdırmağa, materialda toplanmış zədələnmələrin çatın yerdəyişməsinə və böyüməsinə təsirini nəzərə almağa, həmçinin materiallarda yeni çatın əmələ gəlməsini proqnozlaşdırmağa imkan verən şərt alınmışdır.

8. Möhkəmləndirilmiş elastik daxiletmələrin (liflərin) dağılmadan əvvəlki uc zonalı çatlarla zəiflədilmiş periodik strukturlu cisimlərin gərgin-deformasiya vəziyyətinə və dağılmasına təsiri tədqiq edilmişdir. Xarici yükləmələr və ilişmə qüvvələri nəzərə alınmaqla ilişmə qüvvələrinin, çatın sahillərinin yerdəyişməsinin, çatın yaxınlığındakı gərgin vəziyyətin asılılıqları təyin edilmişdir.

9. Kritik xarici yükləmələrin çatın uzunluğundan asılılıqları tapılmışdır. Xarici yükləmənin intensivliyindən, daxiletmələrin (liflərin)

və çatların qarşılıqlı yerləşməsindən asılı olaraq çatların uc zonalarının ölçüləri, dağılmadan əvvəlki zonaların sahilləri arasındakı rəbitələrdəki gərginliklər və çatın ucunda onun sahillərinin yerdəyişməsi təyin olunmuşdur.

10. Kritik dağılma parametrlərinin əsas qiymətlərini və materialın xassələrinin onlara təsirini bilməklə, periodik strukturlu cisimlərdə çatın əmələ gəlməsi və çatın inkişaf etməsi prosesini konstruktor-texnoloji həllər yolu ilə bu materialların layihələndirilməsi mərhələsində əsaslı şəkildə idarə etmək mümkündür.

11. İşlənib hazırlanmış hesablama metodları yeni kompozit materialların layihələndirilməsi mərhələsində aşağıdakı praktik əhəmiyyətə malik məsələləri həll etməyə imkan verir:

a) gözlənilən qüsurlar və yükləmə şərtləri nəzərə alınmaqla kompozitin zəmanətli resursunu qiymətləndirməyə;

b) kifayət qədər etibarlılıq ehtiyatını təmin edən qüsurluluq səviyyəsinin və işçi yükləmələrin maksimal qiymətinin buraxıla bilən səviyyəsini təyin etməyə;

c) zəruri kompleks statik və tsiklik xarakteristikalara malik olan çata dayanıqlı materialları seçməyə.

12. Təklif olunmuş konstruktor-texnoloji tədbirlərin praktik realizəsi kompozit materiallardan hazırlanmış konstruksiya və məmulatların işləmə effektivliyinin və etibarlılığının yüksəldilməsinə yardım edəcəkdir. Belə ki, məsələn, kompozit materialdan məmulatın hazırlanması və istismarı zamanı əsaslandırılmış buraxıla bilən qüsurlar normasının seçilməsi bu məmulatlarda həddi vəziyyətin yaranmasını vaxtında aşkarlamağa və mükün qəzaların qarşısını almağa imkan verir.

Dissertasiyanın mövzusu üzrə nəşrlər

1. Гасанов Ф.Ф. Определение параметров разрушения для пластинки, ослабленной круговым отверстием и поверхностными трещинами, методом сечений // Ученые записки АЗТУ, 2008, №2. – С. 65 – 68.
2. Гасанов Ф.Ф. Коэффициенты и интенсивности напряжений для кругового диска, нагруженного сосредоточенными самоуравновешенными усилиями // Елми ясярляр АЗТУ, 2012, №1. – С. 108 – 113.

3. Гасанов Ф.Ф. Поперечный сдвиг кусочно-однородной упругой среды с когезионными трещинами // Елми ясярляр – фонд. елмляр АзТУ, 2012, №3, жилд XI(43). – С. 99 – 103.
4. Гасанов Ф.Ф. Трещинообразование в композитах, армированных однонаправленными волокнами, при продольном сдвиге // Теоретическая и прикладная механика, 2012. – № 3 – 4. – С. 65 – 69.
5. Гасанов Ф.Ф. Взаимодействие периодической системы ортотропных упругих включений и двух систем прямолинейных когезионных трещин в изотропной среде // Вестник ЧГПУ им. И.Я. Яковлева серия: Механика предельного состояния, 2012, №3(13). – С. 57 – 63.
6. Гасанов Ф.Ф. Периодическая задача механики разрушения для когезионных трещин при продольном сдвиге // Елми ясярляр АзТУ, 2012, №2. – С. 43 – 46.
7. Гасанов Ф.Ф. Разрушение тела, ослабленного периодической системой круглых отверстий, при поперечном сдвиге // Международный научно-технический журнал: Материалы. Техно-логии. Инструменты. 2013, т.18, №1. – С. 17 – 23.
8. Гасанов Ф.Ф. Продольный сдвиг кусочно-однородной среды в случае, когда связующее и включение ослаблены когезионными трещинами // Машиноведение, 2013, №1. – С. 36 – 42.
9. Гасанов Ф.Ф. Периодическая задача о взаимодействии жестких включений и прямолинейных когезионных трещин в изотропной среде при продольном сдвиге // Материалы междуна. научной конф. «Современные проблемы математики, механики, информатики, Тула – 2013. – С. 221 – 225.
10. Гасанов Ф.Ф. Трещинообразование в перфорированном теле при продольном сдвиге // Межд. научн.-техн. журнал: Механика машин, механизмов и материалов, 2013, №2(25). – С. 46 – 52.
11. Гасанов Ф.Ф. Зарождение трещин в композитах, армированных однонаправленными волокнами, при антиплоской деформации // Материалы междуна. научн.

- конф. «Фундаментальные и прикладные проблемы механики деформируемого твердого тела, математического моделирования и информационных технологий. Чебоксары, 2013, часть 1. – С. 49 – 56.
12. Гасанов Ф.Ф. Моделирование зарождения трещин сдвига в теле, ослабленном периодической системой круглых отверстий // Проблемы машиностроения НАН Украины, 2013, т.16. – №3. – С. 29 – 37.
 13. Гасанов Ф.Ф. Поперечный сдвиг составной упругой среды с трещинами со связями между берегами в концевых зонах // Материалы V Междун. научн. конф. «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов». Москва. ИМЕТ РАН, 2013. – С. 816 – 818.
 14. Гасанов Ф.Ф. Периодическая задача механики разрушения о влиянии жестких включений на развитие когезионных трещин продольного сдвига // Вестник ЧГПУ им. Н.Я. Яковлева серия Механика предельного состояния, 2013. – №4(18). – С. 15 – 24.
 15. Мирсалимов В.М., Гасанов Ф.Ф. Решение периодической задачи о развитии когезионных трещин при продольном сдвиге // Физико-химическая механика материалов, 2013, т. 49. – №5. – С. 68 – 72.
 16. Гасанов Ф.Ф. Зарождение трещин в изотропной среде с периодической системой круговых отверстий, заполненных жесткими включениями, при продольном сдвиге // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2014. – №3. – С. 44 – 50.
 17. Гасанов Ф.Ф. Зарождение трещины в композите, армированного однонаправленными ортотропными волокнами, при продольном сдвиге // Межд. научно-техн. журнал «Механика машин, механизмов и материалов», 2014, №2. – С. 45 – 50.
 18. Гасанов Ф.Ф. Продольный сдвиг изотропного упругого тела, ослабленного периодической системой круговых отверстий и прямолинейных когезионных трещин, выходящими на контур отверстий // Межд. научно-техн.

- журнал: Материалы. Технологии. Инструменты, 2014, т. 19, №1. – С. 32 – 39.
19. Гасанов Ф.Ф. Периодическая задача о зарождении трещины в волокне линейно армированных композитов при продольном сдвиге // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*, 2014. – №1, с. 18 – 23.
 20. Гасанов Ф.Ф. Моделирование зарождения трещины сдвига в волокне композита, армированного однонаправленными волокнами // *Проблемы машиностроения НАН Украины*, 2014, т. 17. – №2. – С. 17 – 26.
 21. Гасанов Ф.Ф. Разрушение композита, армированного однонаправленными волокнами // *Механика композитных материалов*. 2014, т. 50, №5, с.829-842
 22. Мирсалимов В.М., Гасанов Ф.Ф. Решение задачи о взаимодействии жестких включений и когезионных трещин в изотропной среде при продольном сдвиге // *Известия ТулГУ серия: Естественные науки*, 2014, вып.1, часть1, – С. 196 – 206.
 23. Мирсалимов В.М., Гасанов Ф.Ф. Взаимодействие периодической системы инородных упругих включений, поверхность которых равномерно покрыта однородной цилиндрической пленкой, и двух систем прямолинейных трещин с концевыми зонами // *Проблемы машиностроения и надежности машин. РАН*, 2014, №5, с. 70 – 78.
 24. Mirsalimov V.M. and Hasanov F.F. Interaction between periodic system of rigid inclusions and rectilinear cohesive cracks in isotropic medium under transverse shear // *Acta Polytechnica Hungarica*, 2014, vol. 11, No5, p. 161 – 176.
 25. Mirsalimov V.M. and Hasanov F.F. Solution of the periodic problem of propagation of cohesive cracks under longitudinal shear // *Material science*, vol. 49, No5, March 2014, p. 631 – 636.
 26. Mirsalimov V.M. and Hasanov F.F. Nucleation of a cracks in isotropic medium with a periodic system of circular holes

- filled with of rigid inclusions under transverse shear // Acta mechanica, 2015, vol.226,№2,p 385-395
27. Mirsalimov V.M. and Hasanov F.F. Interaction of a periodic system of foreign elastic inclusions whose surface is uniformly covered with a homogeneous cylindrical film and two systems of straight line cracks with end zones // J. of Machinery Manufacture and reliability, 2014, vol. 43, No5, pp. 408 – 415.
 28. Мирсалимов В.М, Гасанов Ф.Ф. Зарождение трещин в изотропной среде с периодической системой круговых отверстий, наполненных упругими включениями, при продольном сдвиге // Тяжелое машиностроение, 2014, №10,С.36-40
 29. Мирсалимов В.М., Гасанов Ф.Ф. Продольный сдвиг составной среды с инородными включениями, ослабленной трещинами // Мат. Международной научной конф. «Современные проблемы математики, механики, информатики», Тула, 2014, с. 312 – 320.
 30. Мирсалимов В.М., Гасанов Ф.Ф. Взаимодействие периодической системы инородных включений и когезионных трещин при продольном сдвиге // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2015. – № 2,с.18-28
 31. Гасанов Ф.Ф. Взаимодействие жестких включений и трещин со связями между берегами в концевых зонах при продольном сдвиге тела с периодической структурой.// PROCEEDINGS OF THE SECOND INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF MACHANIZM AND MACINE SCIENCE (ISMMS-2017) 2017,p.156-160