



## **КОМПОЗИТНИ МАТЕРИАЛИ В УСЛОВИЯ НА ВИСОКОСКОРОСТНИ ДЕФОРМАЦИИ**

**Валентин Недев**

[val\\_nedev@abv.bg](mailto:val_nedev@abv.bg)

**Висше транспортно училище “Тодор Каблешков”,  
гр. София, ул. Гео Милев 158,  
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ**

***Ключови думи:** композитни материали, динамично натоварване*

***Резюме:** За класическите монофазни конструкционни материали е характерно повишаване на скоростта на деформиране при повишаване на скоростта на прилагане на външното натоварване. Това често е съпроводено с увеличаване на границата на еластичност и граничната якост на материала. Като цяло, такава зависимост се наблюдава и при композитните материали. Успоредно с това, композитните материали проявяват редица особености. При големи скорости на деформацията матричната и дисперсната фаза реагират по различен начин. Това предизвиква съществена промяна в характера и формите на разрушение при композитните материали, в сравнение с монофазните материали.*

*Изучаването на поведението на композитните материали при високи скорости на деформиране се извършва с аналитични и експериментални методи, като твърде често се налага да се използват комбинирани методи. Важна роля в тези изследвания има уравнението на състоянието при бързо протичащи деформации в композитния материал.*

Известно е, че при увеличаването на скоростта на прилагане на натоварването скоростта на деформацията също нараства. Това се съпровожда и с повишаване на границата на якост. Това обстоятелство остава валидно и при композитните материали. Същевременно, поведението на композитните материали е съпроводено с редица особености. При големи скорости на натоварване поведението на матричната и дисперсната фаза съществено се различава. Начините на разрушаване са значително по-многообразни в сравнение с хомогенните материали. Това налага да се анализират разрушението на матрицата, на влакната, на граничната повърхност между двете. При това и в различни комбинации.

При високи скорости на натоварване и съответно, високи скорости на деформацията, става наложително да се отчитат инертността на масата на материала и еласто-пластичните свойства на същия. Също така, при динамичното въздействие работните диаграми на материала ще съдържат съществени различия от тези при статично натоварване.

При ударно натоварване зараждането на пукнатини в матрицата обхваща широк интервал по отношение на деформацията. Съществено е и отделянето на армиращите влакна от матрицата.

Сред факторите оказващи съществено влияние на поведението на композитния материал подложен на удар следва да се имат предвид съотношението на компонентите, вида и разпределението на фазите, физическите параметри на средата, вида и параметрите на натоварването и др. Всичко това значително усложнява анализа на проблема и предопределя използването на аналитични, експериментални и комбинирани методи за тази цел. При такива изследвания в поведението на композитния материал могат да се обособят два етапа:

- процес до образуване на нарушения в материала;
- процес обхващащ развитието на пукнатините до пълното разрушаване.

При анализа на първия етап, обикновено е възможно да се прилагат по-прости механични модели, но те не обхващат момента на разрушение. При втория етап се налага използването на значително по-сложни модели, включително нелинейни, компютърно моделиране и прецизни експериментални постановки.

Много изследователи се концентрират върху изучаването на якостта и процеса на разрушение. Характерът на разрушение е сложен, доколкото не се ограничава с разрушението на матрицата. Разрушението може да се изрази в скъсване на влакната или тяхното изтръгване от матрицата, при това в различна последователност.

От практическа гледна точка, особено важен е проблемът за оценка на якостта при ударно натоварване. За целта се провеждат експерименти с опитни образци, разрушавани при удар. На тази база се определя изразходваната работа, което позволява да се определи ударната якост и вискозитета на материала.

### ***Уравнение на състоянието при високоскоростно деформиране***

Ако в конкретна област от еластично тяло внезапно се приложи налягане в тялото се разпространява ударна вълна. Това променя състоянието на композитния материал при спазване на законите за съхранение на масата, енергията и количеството на движение.

При отчитане на масата, пластичността и вискозитета на материала при едномерно ударно натоварване е валидно уравнението [1]

$$\frac{\partial \sigma}{\partial t} - f \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = -G, \quad (1)$$

където  $f$  е коефициент, определящ наклона на работната диаграма “напрежения-деформации“ при ударно натоварване, а  $G$  е коефициент на релаксация на напреженията.

При вискозно триене, е в сила зависимостта [2]:

$$G = \sigma - \int_{AB} (k/\tau) d\varepsilon, \quad (2)$$

където  $k$  е коефициент, определящ наклона на работната диаграма “напрежения-деформации“ при статично натоварване, а  $\tau$  е коефициент на релаксация.

При отчитане на пластичните деформации може да се използва израза [4]:

$$G = A[\sigma - f(\varepsilon)], \quad (3)$$

където  $A$  е материална константа, а  $f(\varepsilon)$  е функция на статичното напрежение от деформацията.

Ако закона за съхранение на масата

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial x} = 0, \quad (4)$$

се замести в (1) и след диференциране, резултатът се замести в уравнението описващо закона за съхранение на количеството на движение

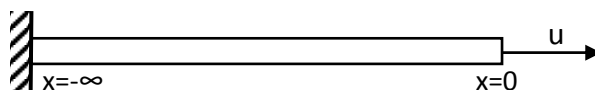
$$\frac{\partial \sigma}{\partial x} + \rho \frac{\partial u}{\partial t} = 0, \quad (5)$$

се получава:

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 \sigma}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \sigma}{\partial t^2} + \frac{\partial G}{\partial t}, \quad (6)$$

където  $x$  е лагранжева координата.

Като най-прост, можем да разгледаме случая на полубезкраен прът със запънат край ( $x = -\infty$ ) и свободен край ( $x = 0$ ) (фиг.1).

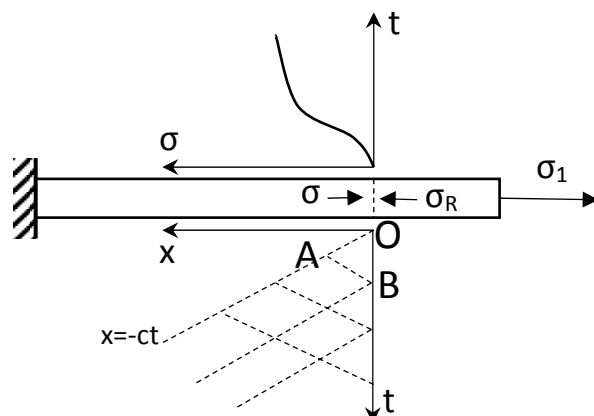


Фиг.1. Създаване на високоскоростна деформация в полубезкраен прът

Нека прътът е подложен на внезапен опън с определена скорост в свободния край. В случая може да се пренебрегне кинетичната енергия и членът съдържащ коефициента на релаксация на напреженията ( $G$ ). Така се получава

$$\frac{f}{\rho} \frac{\partial^2 \sigma}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \sigma}{\partial t^2}, \quad (7)$$

като вълната на напреженията се разпространява със скорост  $c = \sqrt{f/\rho}$ .



Фиг.2. Вълна на напрежението от ударно натоварване

Характеристиките в равнината  $x, t$  са онагледени на фиг.2. За клетката  $OAB$  при  $x = 0$  може да се състави уравнение в крайни разлики с което да се определи напрежението във фронта на вълната:

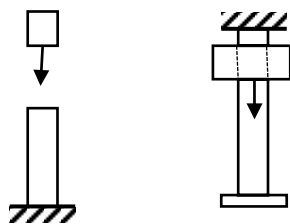
$$\sigma_B = \sigma_A - \rho c(u_B - u_A) - G_A \Delta t. \quad (8)$$

По този начин, ако в точките  $O$  и  $A$  са известни стойностите на величините  $\sigma, u, \varepsilon$  и изходното напрежение  $\sigma_1$  става възможно определянето на съответните параметри в точка  $B$ .

При случаите на надлъжен удар, показани на фиг.3, напрежението във фронта на ударната вълна се задава с израза

$$\sigma = \rho c u + 2\sigma_1, \quad (9)$$

където  $\sigma_1$  е напрежението в материала при статично действие на падащото тяло.

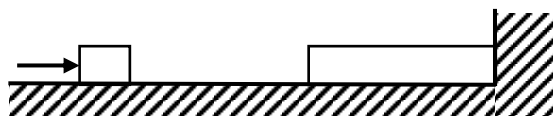


Фиг.3. Случай на надлъжно ударно натоварване

В случая на хоризонтален удар (фиг.4) стойността на напрежението е

$$\sigma = \rho c u, \quad (10)$$

където  $u$  е скоростта при удара. Когато двете тела имат близки по големина маси и са изработени от материали със сходни характеристики, скоростта  $u$  е приблизително равна на половината от скоростта при удара.



Фиг.4. Случай на надлъжен хоризонтален удар

В случаите на прилагане на ударното натоварване по направление на армиращите слоеве е наложително да се изследва влиянието на граничните повърхнини. Такова изследване е проведено например в [3, 4].

#### ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Barker L. M., Journal Composite Materials, 1971, v.5, p.140.
- [2] Malvern L. E., Journal Appl. Mech., 1951, v.73, p.203.
- [3] Chou P. C., Wang A.S., Journal Composite Materials, 1970, v.4, p.444.
- [4] Амидзима С. и др., V-и симпозиум по пластмасам, армированным волокном. Нихон дзайрё гаккай, 1976, с.70.

# COMPOSITE MATERIALS IN CONDITIONS OF HIGH-SPEED DEFORMATIONS

Valentin Nedev  
val\_nedev@abv.bg

*Todor Kableshkov University of Transport,  
Sofia, 158 Geo Milev Str.  
THE REPUBLIC OF BULGARIA*

**Key words:** *composite materials, dynamic load*

**Abstract:** *For classic monophasic construction materials, an increase in the rate of deformation is characteristic when increasing the rate of application of the external load. This is often accompanied by an increase in the elasticity limit and the boundary strength of the material. In general, such dependence is also observed in composite materials. In parallel, composite materials exhibit a number of peculiarities. At high speeds of deformations, the matrix and dispersion phase react differently. This causes a significant change in the nature and forms of destruction in composite materials compared to monophasic materials.*

*The study of the behaviour of composite materials at high rates of deformation is carried out with analytical and experimental methods, and too often it is necessary to use combined methods. An important role in these studies is the equation of the condition in fast-flowing deformations in the composite material.*