

МОДЕЛИРАЊЕ РАСТА ПРСЛИНЕ У ЦЕМЕНТНОБАЗНИМ КОМПОЗИТИМА

Ленарт Ђерђ¹

УДК: 666.972.1:539.41

DOI: 10.14415/konferencijaGFS2014.036

Резиме: У раду се приказује отварање уста прслине *CMOD*, зависно од врсте влакана и то са челичним влакнима са једне стране и понашање исте матрице ојачане са полипропиленским влакнима са друге стране. Приказују се мерења и резултати *PUL-OUT* теста, мерења *CMOD*-а, те разматрања добијених резултата и њихово тумачење применом основних закона механике лома.

Кључне речи: Цементнобазни композити, *CMOD*

1. УВОД

Отпорност на лом влакнима ојачаног цементнобазног композита зависи од спрегнутог дејства влакна и матрице.

Када прслина почиње да расте у матрици, влакна теже да се одупру њеном даљем расту.

Код цементнобазних влакнастих композита без обзира на постављени модел, тј. да ли композит третирамо као хомогени или хетерогени, изотропни или анизотропни материјал, нужан и неопходан је услов да енергија деформације које поседује композит буде већи од површинске енергија око прслине.

Код цементнобазних композита користимо за матрицу такав елемент који има у себи цемент као лепило и неку врсту каменог агрегата као испуну.

Величина каменог агрегата није иста.

Користећи законе механике лома можемо проучити раст прслина код влакнастих композита јер влакна и матрица стварају један нови материјал са новим особинама.

Нови композитни материјал има сасвим друга својства него матрица и влакно посебно.

Понашање композитног материјала можемо испитати на разне начине и разним методама.

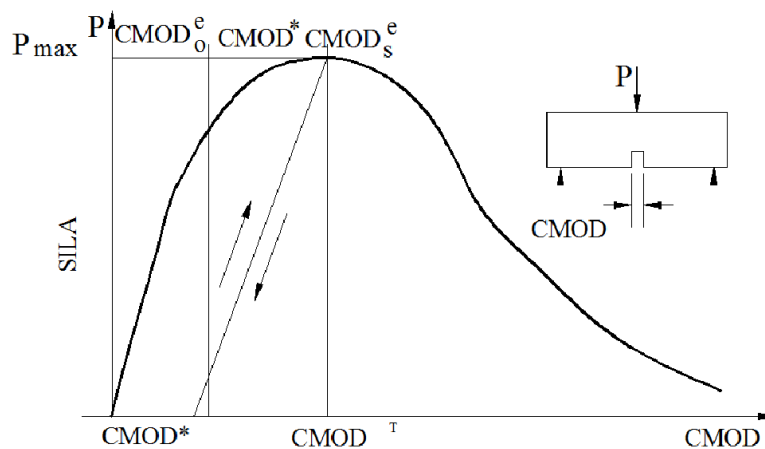
У инжењерској пракси се доказало да материјал испитан на савијање даје приближно исте резултате као и у пракси, те експерименталне резултате можемо користити у свакодневном раду.

¹ Ленарт Ђерђ, дипл.инж. грађ., Универзитет у Новом Саду, Грађевински факултет Суботица, Козарачка 2а, Суботица, Србија, тел: 024 554 300, е – mail: lenart.gyorgy@yahoo.com

2. ОДРЕЂИВАЊЕ K_{IC} И $CMOD_c$ САВИЈАЊЕМ ГРЕДЕ У ТРИ ТАЧКЕ

Дијаграмом сила - $CMOD$ за бетонску греду, који се добија експерименталним путем, Слика 1. , може да се опише уочено нееластично померање када су узорци растеређени непосредно након максималног оптерећења.

Укупни $CMOD$ се састоји од линеарно еластичног дела (без раста прслине) - $CMOD^e$, и нелинеарно еластичног дела, $CMOD^s$, који укључује раст прслине нееластичног дела $CMOD^*$.



Слика 1. Дијаграм СИЛА- $CMOD$

Да би се применио концепт линеарно еластичне механике лома, јасно је да се мора користити еластични $CMOD$ ($CMOD^e = CMOD^T - CMOD^*$).

Посебан проблем при одређивању K_{IC} је одређивање стварне дужине прслине. Да би се избегло мерење тренутне дужине прслине, које је скупо и компликовано, дефинише се ефективна дужина прслине, (a) као збир почетне дужине (a_0) и ефективног издужења прслине (l_e). Изражавањем $CMOD^e$ може се одредити l_e , односно ефективна дужина прслине, која одговара стварној (тренутној) дужини прслине. Код греде са зарезом испитане на савијање са међусобним односом висине и дужине 1:4, еластични $CMOD$ може да се изрази као:

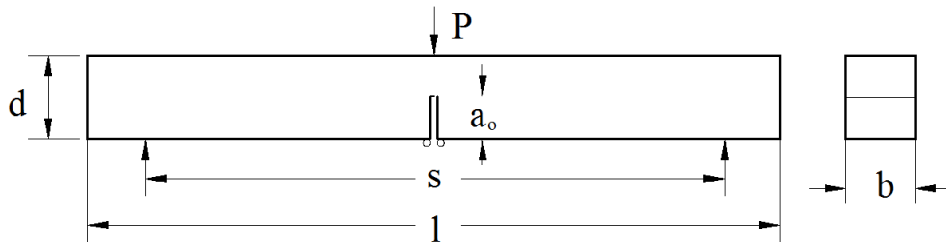
$$CMOD^e = \frac{Ps}{dbE'} \left[4,56A - 13,68A^2 + 23,24A^4 + \frac{3,96}{(1-A)^2} \right] \quad (1)$$

где је:

$E' = E$ - за равно стање напона

$E' = E / (1 - \nu^2)$ - за равно стање деформација

$A = \frac{a}{d}$, док су P , s , a_0 , b , d приказани на Слици 2.



Слика 2. Геометријске ознаке испитаног узорка

За измерено максимално оптерећење P_{\max} , почетну дужину прслине a_0 и измерену вредност $CMOD^e$, ефективна дужина прслине a се одређује на основу једнакости рачунске вредности $CMOD^e$ и измереног $CMOD^e$. Када је стварна дужина прслине одређена, тада се може израчунати K_{Ic} и $CMOD_c$ користећи линеарно еластичну механику лома. Вредност K_{Ic} се рачуна као:

$$K_{Ic} = \frac{M_{\max}}{W} F_1 \left(\frac{a}{d} \right) \sqrt{\pi a} \quad (2)$$

где је

$$M_{\max} = \frac{P_{\max}}{2} \cdot \frac{s}{2}; W = \frac{b \cdot d^2}{6} \quad (3)$$

$$F_1 \left(\frac{a}{d} \right) = \frac{1.99 - A(1-A)(2.15 - 3.93A + 2.7A^2)}{\sqrt{\pi} (1+2A)(1-A)^{3/2}} \quad (4)$$

док се $CTOD_c$ одређује на основу израза:

$$CTOD_c = CMOD^e \left(1 - \frac{a_0}{a} \right) \left(1 - 0.081 \frac{a_0}{a} - 1.149 \frac{a_0}{b} \right) \quad (5)$$

Код материјала ниске чврстоће и ниског напона на граници течења жилавост лома је велика.

Пластично деформисано подручје код цементнобазних влакнастих композита на месту зареза је у функцији односа матрице и влакна. За одређивање параметара лома као упоредни параметар може се користити померање отвора прслине (Crack Mouth Opening Displacement - $CMOD$). Мерењем $CMOD$ -а на основу претходних формула могу се одредити основни параметри лома. Вредности параметара лома нису линеарни. Нелинеарност код параметара лома може се одредити компарацијом рачунске вредности који се базирају на експерименталним резултатима и стварним резултатима мерења.

3. РАСТ ПРСЛИНЕ У ВЛАКНАСТИМ КОМПОЗИТИМА

Понашање композита ојачаних влакнима који садрже зарез почетне дужине a_0 , може се посматрати у четири фазе:

Линеарно стање:

У подручју линеарног стања напона нема разлике између неојачане матрице и влакнима ојачаног композита, Слика 1., који се такође понаша линеарно осим за почетни Young -ов модул који је незнатно већи од модула матрице, што зависи од количине влакана. Његова вредност је одређена у претходном поглављу. У линеарно еластичној области за раст прслине важи формула (1). Вредности P^e и $CMOD^e$ се одређију на бази мерених вредности дијаграма $P-CMOD$, Слика 1., па користећи једначину (1) одређује се вредност дужине прслине a .

Нелинеарни раст прслине:

Порастом дужине прслине долази до изражаја нелинеарни ефекат њеног раста. Теоријски је немогуће одредити тачну вредност прслине при којој је неопходно узети у обзир нелинеарне ефекте. Препорука, коју даје Shah [1], да се као граница узме вредност FIN -а која одговара $0,5K_{IC}^S$, није заснована на физичким принципима, нити је објашњена. Осим тога, применом тог критеријума у овом раду је добијено незадовољавајуће слагање експерименталних и теоријских резултата. Стога, у овом раду је усвојен другачији критеријум, заснован на искуству аутора, по коме ће нелинеарни ефекат доћи до изражаја када прираст дужине прслине достигне 10% почетне дужине (a/a_0). Добијени експериментални резултати оправдали су увоређење овог критеријума.

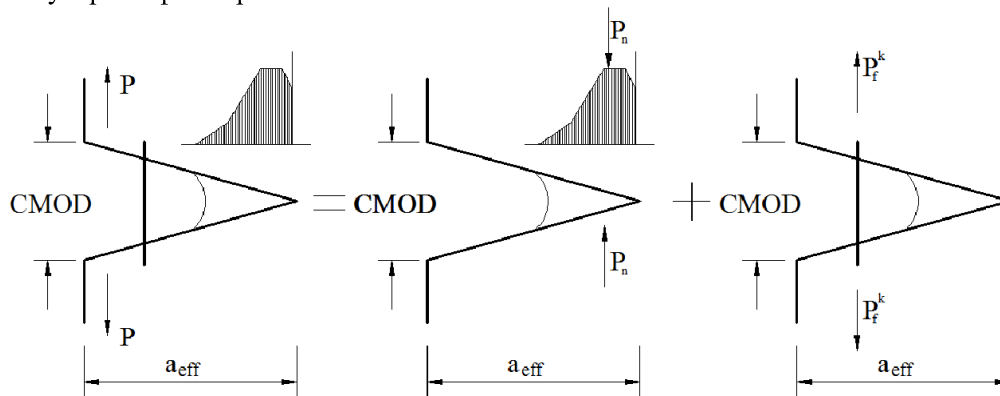
Код развоја $CMOD$ влакно ће преузети силу затезања зависно од укупног померања отвора прслине, а прорачун фактора интензитета напона зависи од ефективног раста прслине и еластичног померања отвора прслине. Прслина ће расти до неутралне линије. Спољњем моменту ће се супротставити спрег унутрашњих сила од затезне силе у влакнима и силе притиска у матрици. Укупно оптерећење P које делује на композитну структуру се дели на два дела, Слика 3.:

$$P = P_m + P_f^k$$

где је

P_m допринос матрице и зависи од K_I ;

P_f^k допринос влакна, зависи од количине и врсте влакана и односи се на сингуларни ефект премошћавања влакана.



Слика 3. Прихватање укупног оптерећења

Стационарно стање:

У овој фази раст прслине је стационаран (тј. $K_I = K_{IC}$).

Вредност укупног оптерећења P за цементнобазне влакнасте композите постиже максимум када K_I достигне K_{IC} .

Зависно од запремине и врсте влакана, максимално оптерећење за цементнобазне влакнасте композите наступа код веће дужине прслине од оне која одговара максимуму оптерећења код неојачане матрице Слика 4.

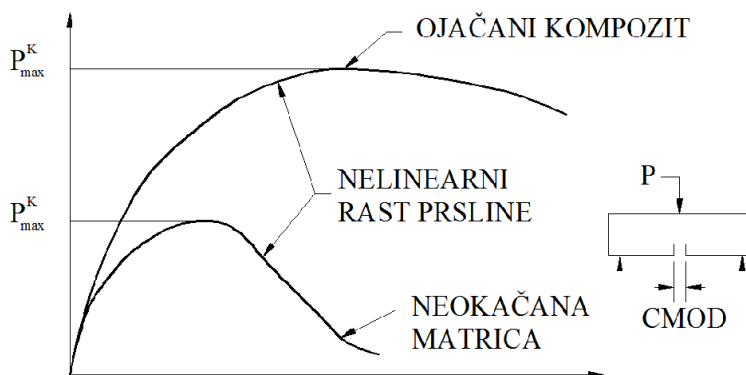
Стационарно стање у пресеку одржавају влакна која су изложена затезању, а у притиснутом делу пресека влакна такође учествују у прихватању силе притиска сразмерно запреминском односу и односу идеалних површина (односу модула еластичности матрице и влакана) тако да је унутрашњи спрег сила у равнотежном стању са спољним.

Потпун лом матрице:

Када отварање уста прслине ($CMOD$ на Слици 3.) постане веома велико, отпор који пружа матрица постаје безначајан и вредност фактора интензитета напона (K_I) тежи нули.

Даљем развоју прслине главни отпор сада пружа влакно. У том стању оптерећење P и одговарајући $CMOD$ могу да се рачунају само путем разматрања глобалне равнотеже, како у затегнутом тако и у притиснутом делу пресека.

Овакво стање нема значајну примену јер се у пресеку где више нема матрице не може говорити као о композиту, већ је то посебно стање које није предмет овог рада.



Слика 4. Дијаграм $CMOD - P$ за ојачани композит и неојачану матрицу

CRACK PROPAGATION MODELING WITHIN CEMENT BASED COMPOSITES

Summary: The paper presents crack opening propagation *CMOD*, depending on the type of reinforcement fibers i.e. steel fibres matrix on one hand and polypropylene fibre matrix on the other hand. Measurement results as well as *PULL-OUT* test results are given which are followed by the discussion of obtained results and their description by means of basic law of fracture mechanics.

Key words: Cement based composites, *CMOD*